



SKRIPSI - 141501

ANALISIS PERFORMA, HASIL PROSES PEMBAKARAN DAN NO_x YANG DIHASILKAN MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL MINYAK JELANTAH (*WASTE COOKING OIL*) DENGAN PENAMBAHAN SISTEM *EGR* (*EXHAUST GAS RECIRCULATION*) BERBASIS EKSPERIMEN

**Heri Febriantoro
4213100028**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS - 141501

**ANALYSIS OF PERFORMANCE, COMBUSTION PROCESS AND NOX
EMISSION OF DIESEL ENGINE FROM WASTE COOKING OIL (WCO)
WITH *EGR* SYSTEM BY EXPERIMENT**

**Heri Febriantoro
4213100028**

**Academic Supervisor:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Performa, Hasil Proses Pembakaran Dan *Nox* Yang Dihasilkan Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*) Dengan Penambahan Sistem *EGR* (*Exhaust Gas Recirculation*) Berbasis Eksperimen

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

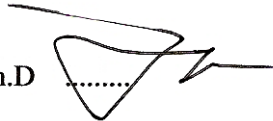
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Heri Febriantoro
NRP. 4213 100 028

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Performa, Hasil Proses Pembakaran Dan NO_x Yang Dihasilkan Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*) Dengan Penambahan Sistem *EGR (Exhaust Gas Recirculation)* Berbasis Eksperimen

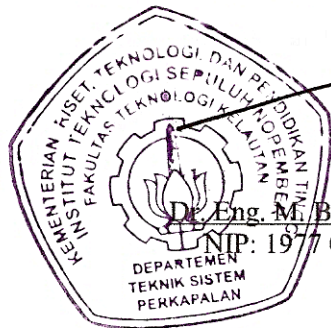
Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Heri Febriantoro
NRP. 4213 100 028

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT
NIP: 1977 0802 2008 01 1007

Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analisis Performa, Hasil Proses Pembakaran Dan NO_x Yang Dihasilkan Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*) Dengan Penambahan Sistem *EGR* (*Exhaust Gas Recirculation*) Berbasis Eksperimen

Nama Mahasiswa : Heri Febriantoro
NRP : 4213 100 028
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Ketersediaan bahan bakar secara umum dan bahan bakar dalam pengoperasian motor diesel secara khusus kini semakin berkurang. Disamping itu, permasalahan lingkungan terkait global warming, salah satunya tentang polusi udara juga sudah mengkhawatirkan. Pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai bahan biodiesel dapat menjadi salah satu jalan keluar krisis bahan bakar. Penambahan teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (*EGR*) juga bisa memberikan jawaban dalam mengatasi polusi udara. Penelitian ini akan membahas pemanfaatan minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (*WCO*) dan penambahan *Exhaust Gas Recirculation* (*EGR*). Analisa yang dilakukan meliputi performa, hasil proses pembakaran serta emisi dalam NO_x penggunaan bahan bakar biodiesel. Penggunaan biodiesel *WCO* dengan penambahan sistem *EGR*, menghasilkan performa lebih baik dari bahan bakar konvensional dengan nilai *SFOC* sebesar sama di angka 301gr/kWh, biodiesel dengan sistem *EGR* mempunyai *ignition delay* yang lebih singkat 0,19 ms (millisecond) dari bahan bakar biasa. Penambahan *EGR* menyebabkan *ignition delay* semakin panjang namun *combustion pressure* peak yang lebih rendah. Emisi biodiesel dengan penambahan *EGR* maksimal sebesar 30% adalah 3,3 gr/kWh, lebih rendah hingga 4,9 gr/kWh dari biodiesel tanpa *EGR* pada putaran 2200RPM dan beban 100%.

Kata kunci : Biodiesel minyak jelantah, *Exhaust Gas Recirculation* (*EGR*), Performa motor, Proses Pembakaran, Emisi, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analysis of Performance, Combustion Process And NO_x Emission of Diesel Engine from Waste Cooking Oil (WCO) with *EGR* System by Experiment

Name : Heri Febriantoro
Registered Number : 4213 100 028
Department : Marine Engineering
Advisor : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

The availability of both fuel for the household and fuel for diesel motor operation in particular is now diminishing. In addition, environmental issues related to global warming such as air pollution is also alarming. Utilizing used cooking oil as a biodiesel material can be an alternative way to reduce fuel crisis. The addition of Exhaust Gas Recirculation (*EGR*) technology can also provide an answer in overcoming air pollution. This research discusses the utilization of waste cooking oil (WCO) and the addition of Exhaust Gas Recirculation (*EGR*). The analyzes were conducted including performance, combustion process results and emissions in NO_x of biodiesel fuel usage. The use of WCO biodiesel with the addition of *EGR* system, produces better performance than conventional fuel with SFOC value equal to 301gr / kWh, biodiesel with *EGR* system has a shorter ignition delay of 0.19 ms (millisecond) than ordinary fuel. The addition of *EGR* causes longer ignition delay and lower peak combustion pressure. Biodiesel emissions with a maximum 30% *EGR* addition were 3.3 g / kWh, lower to 4.9 g / kWh from biodiesel without *EGR* at 2200RPM and 100% load.

Keywords : Biodiesel Waste Oil, *Exhaust Gas Recirculation (EGR)*, Motor Performance, Combustion Process, Emissions, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul “**Analisis Performa, Hasil Proses Pembakaran Dan *NOx* yang Dihasilkan Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (*Waste Cooking Oil*) dengan Penambahan Sistem *EGR* (*Exhaust Gas Recirculation*) Berbasis Eksperimen**” dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW yang diharapkan syafaatnya hingga diakhir kiamat.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc. selaku Dosen Wali yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.
4. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
5. Bapak Marjin, Ibu Erlina serta Feryrama Dwi Nugroho selaku ayah, ibu dan adik dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayangnya, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
6. Teman-teman “Marine Power Plant Laboratory” yang selalu menemani penulis mengerjakan di laboratorium.
7. Kawan seperjuangan dan seangkatan BARAKUDA '13 yang selalu mendukung mencetak pola pikir terdepan hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar.
8. Mas Arif selaku kakak tingkat yang berhasil menemukan bahan bakar alternatif terbaru sehingga skripsi ini menjadi salah satu keberlanjutannya.
9. Mas Yasin selaku kakak tingkat yang berhasil menemukan teknologi *EGR* valve sehingga skripsi ini menjadi salah satu keberlanjutannya.
10. Mas Anugrah Des selaku kakak tingkat yang berhasil menemukan teknologi cooler *EGR* sehingga skripsi ini menjadi salah satu keberlanjutannya.
11. Mas Bayu Nurwana selaku kakak tingkat dan teman satu kost yang selalu mengingatkan penulis agar selalu fokus dalam skripsi ini
12. Teman-teman “Kost Himandhes” dan “Kontrakan Abah” yang selalu memberikan hiburan ketika penulis mulai merasa *Low Motivation*.
13. Dewi Kafanillah, “*my cup of coffee*” yang selalu menjadi tempat istirahat, semangat, motivasi, serta doanya dalam menyelesaikan skripsi ini
14. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, dan dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin amin.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Permasalahan.....	2
1.4 Tujuan Permasalahan	3
1.5 Manfaat Penulisan.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
BAB III.....	11
METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah	11
3.2 Studi Literatur	12
3.3 Persiapan Alat	12
3.3.1 Pembuatan Biodiesel.....	12
3.3.2 Uji Alat <i>EGR</i>	20
3.4 <i>Engine Set up</i> (Pra Experimen)	20
3.5 Pengambilan Data (Eksperimen).....	21
3.5.1 Uji Performa	21
3.5.2 Uji Emisi (Kadar <i>NOx</i>) dan Proses Pembakaran.....	21
3.6 Pengumpulan Data	22
3.7 Analisa & Pembahasan	22
3.8 Kesimpulan & Saran	22
BAB IV	23
4.1 Performa Motor Diesel dengan Bahan Bakar B20 & B30 pada bukaan Valve 10% , 20% dan 30% Cold <i>EGR</i>	23
4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (<i>WCO</i>) dengan penambahan Exhaust Gas Recirculation (<i>EGR</i>).....	35
4.3 Kandungan <i>NOx</i> Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (<i>WCO</i>) dengan penambahan Exhaust Gas Recirculation.....	48
BAB V.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik perbandingan putaran (rpm) dengan NOx pada beban penuh	6
Gambar 2.2.	<i>Exhaust Gas Recirculation (EGR)</i>	6
Gambar 2.3.	Hasil uji emisi NOx dengan variasi <i>EGR</i>	7
Gambar 2.4.	Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi	8
Gambar 2.5.	Grafik standar batasan emisi NOx MARPOL Annex	9
Gambar 3.1.	Metodologi Penelitian	11
Gambar 3.2.	Proses pemanasan minyak jelantah	12
Gambar 3.3.	Larutan Metoksid	13
Gambar 3.4.	Proses Pencampuran	13
Gambar 3.5.	Campuran Minyak jelantah dan metoksid	14
Gambar 3.6.	Proses <i>Settling</i>	14
Gambar 3.7.	Hasil Pencampuran biodiesel dengan aquades	14
Gambar 3.8.	Proses Pencucian 1-4	14
Gambar 3.9.	Proses Pengeringan	15
Gambar 3.10.	Biodiesel Minyak jelantah murni	15
Gambar 3.11.	Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari-1	16
Gambar 3.12.	Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari-3	16
Gambar 3.13.	Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari ke-5	17
Gambar 3.14.	Angle Global Valve	19
Gambar 3.15.	<i>EGR</i> hose and elbow set	19
Gambar 3.16.	<i>EGR</i> set	20
Gambar 3.17.	Desain Eksperimen	21
Gambar 4.1.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B0 atau Dexlite Murni pada 0% <i>EGR</i>	23
Gambar 4.2.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20 pada 0% <i>EGR</i>	24
Gambar 4.3.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20 pada 10% <i>EGR</i>	25
Gambar 4.4.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20 pada 20% <i>EGR</i>	26
Gambar 4.5.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20 pada 30% <i>EGR</i>	27
Gambar 4.6.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20 pada 30% <i>EGR</i>	28
Gambar 4.7.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B30 pada 10% <i>EGR</i>	29
Gambar 4.8.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B30 pada 20% <i>EGR</i>	30
Gambar 4.9.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B30 pada 30% <i>EGR</i>	31

Gambar 4.10.	Performansi <i>Power</i> vs RPM pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Buka-an Katup <i>EGR</i>	32
Gambar 4.11.	Performansi Torsi vs RPM pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Buka-an Katup <i>EGR</i>	33
Gambar 4.12.	Performansi BMEP vs RPM Pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Buka-an Katup <i>EGR</i>	34
Gambar 4.13.	Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 25% Load	36
Gambar 4.14.	Grafik Maximum <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 25% Load	37
Gambar 4.15.	Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 50% Load	38
Gambar 4.16.	Grafik maximum <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 50% Load	39
Gambar 4.17.	Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 75% Load	40
Gambar 4.18.	Grafik Maximum <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 75% Load	41
Gambar 4.19.	Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 100% Load	42
Gambar 4.20.	Grafik Maximum <i>Combustion Pressure</i> pada 100% RPM dan 100% Load	43
Gambar 4.21.	Grafik <i>Rate Of Heat Release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 25% Load	44
Gambar 4.22.	Grafik <i>Rate Of Heat Release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 50% Load	45
Gambar 4.23.	Grafik <i>Rate Of Heat Release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 75% Load	46
Gambar 4.24.	Grafik <i>Rate Of Heat Release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 100% Load	47
Gambar 4.25.	Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hasil uji emisi NO _x	7
Tabel 2.2.	Batasan Emisi <i>NO_x</i> pada <i>MARPOL</i> Annex VI (<i>IMO</i> , 2008)	9
Tabel 3.1	Standart Biodiesel SNI	18
Tabel 3.2	<i>MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle</i>	22

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan bakar konvensional di bumi terus mengalami peningkatan sehingga menyebabkan krisis energi dunia karena cadangan minyak bumi yang tersedia semakin menipis, baik karena jumlah pasokan yang tersedia ataupun karena kendala distribusi. Bahan bakar minyak bumi diperkirakan akan habis jika dieksploitasi secara besar-besaran. Disamping itu minyak bumi merupakan bahan bakar tak terbarukan. Kebutuhan minyak bumi yang semakin besar merupakan tantangan yang perlu diatasi. Masyarakat juga harus lebih pintar dan bijak dalam menggunakan bahan bakar. Salah satunya penggunaan bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar konvensional.

Selain masalah energi, permasalahan tentang lingkungan juga tidak kalah penting. Polusi udara yang disebabkan oleh sisa pembakaran, baik karena hasil dari pembakaran sampah, hutan dan musibah kebakaran lain juga tidak luput menjadi penyebab kerusakan lingkungan di bumi. Hasil pembakaran dari motor bakar khususnya motor diesel juga sedang dicari cara untuk mengurangi dampaknya terhadap lingkungan. Di bidang maritim, aturan juga semakin ketat. Melalui *IMO* juga dikeluarkan aturan tentang emisi gas buang yang mengatur khususnya kandungan *NOx* dalam gas buang.

Dengan adanya permasalahan yang seperti yang dipaparkan di atas, sebagian masyarakat rupanya sudah ada yang memiliki kesadaran untuk memanfaatkan bahan bakar alternatif untuk menghindari dampak krisis bahan bakar konvensional. Salah satunya penggunaan biodiesel yang berbahan dasar minyak jelantah atau campuran bahan bakar konvensional dengan bahan bakar biodiesel tersebut. Minyak jelantah (*WCO*) merupakan salah satu bahan baku potensial di Indonesia yang dapat digunakan untuk bahan bakar biodiesel. Namun kurangnya pengetahuan dari studi yang ada tentang penggunaan biodiesel minyak jelantah tersebut menimbulkan dampak lanjutan atau efek samping dari penggunaan bahan bakar alternatif, dan menyebabkan kerusakan yang lebih terhadap lingkungan, khususnya polusi udara. Dari hasil studi yang sudah ada, penggunaan minyak jelantah selain menurunkan kadar unsur emisi *Hidrocarbon (HC)* dan *carbonmonoksida (CO)* ternyata menghasilkan unsur emisi *NOx* yang sama seperti bahan bakar konvensional, bahkan sumber lain menyebutkan bahwa kadar *NOx* pada emisi biodiesel minyak jelantah cenderung lebih besar.

Perkembangan teknologi motor bakar dewasa ini sudah sangat maju terutama pada motor diesel dalam upaya peningkatan efisiensi dan mengarah ke teknologi ramah lingkungan dengan mengurangi tingkat emisi. Beberapa teknologi berbasis ramah lingkungan yang pernah dipublikasikan adalah teknologi *Exhaust Gas Recirculation (EGR)*, *Selective Catalytic Reduction (SCR)*, *Amonia Scrubber*, *Air Humidifier*, *Direct Water Injection (DWI)*, *Water Fuel Emulsification*, *Diesel Particulate Filter (DPF)*. Untuk mengoptimalkan penggunaan biodiesel minyak jelantah sebagai campuran untuk mengurangi atau bahkan menggantikan bahan bakar konvensional, dalam mengurangi unsur emisi *NOx* terdapat sistem *EGR* yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah tersebut. *EGR* bekerja dengan mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar berupa gas inert yang tidak bereaksi dalam proses

pembakaran menggantikan sebagian jumlah udara campuran oksigen dan bahan bakar yg masuk ke silinder. Hal ini berarti panas dari pembakaran menjadi lebih rendah dan mengurangi reaksi oksigen terhadap nitrogen sehingga pembentukan NO_x dapat diminimalkan.

Pada penelitian kali ini, tidak lepas dari lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Achmad Maulana Yasin, 2016. Yaitu pengembangan jenis *EGR* dengan penambahan *globe valve* yang bertujuan untuk mengatur bukaan aliran gas buang yang akan disirkulasikan kembali ke ruang bakar. Tujuan dari *EGR valve* jenis *globe valve* ini adalah menghasilkan *EGR* yang mampu mereduksi NO_x lebih baik lagi, serta mengurangi *weakness* yang ditimbulkan seperti *head loss minor* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda.

Agar mengetahui pengaruh penggunaan *EGR valve* jenis *globe valve* yang diaplikasikan pada motor diesel berbahan bakar minyak jelantah ini, maka diperlukan sebuah eksperimen dan pengujian motor diesel sehingga diketahui nilai peforma motor, proses pembakaran dan kadar emisi khususnya NO_x yang dihasilkan. Analisa peforma yang nanti akan digunakan untuk mengukur *power*, torsi dan efisiensi. Proses pembakaran juga akan digunakan sebagai bahan analisa terhadap penyebab terjadinya penurunan emisi NO_x yang dihasilkan.

Dengan cara tesebut diharapkan dapat mengatasi masalah yang dihadapi dalam hal krisis energi dan minyak bumi, namun tetap memperhatikan dampak lingkungan yang dihasilkan bahan bakar laternatif dapat dimanfaatkan secara optimal dan dampak kerusakan lingkungan dapat semakin dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dapat di bahas pada usulan skripsi ini adalah

1. Bagaimana performa yang dihasilkan oleh motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda?
2. Bagaimana hasil proses pembakaran motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda?
3. Bagaimana penurunan kadar NO_x motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda?

1.3 Batasan Permasalahan

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor diesel yang digunakan untuk pengujian adalah merk Yanmar model TF85MH-di *single cyllinder* 493cc, dengan RPM maksimal 2200 RPM dengan daya maksimal 7.5 kW
2. Metode pembuatan biodiesel dengan cara proses transesterifikasi dengan campuran *methanol*
3. Tidak menganalisa dari segi ekonomi
4. *EGR* yang dipakai adalah *EGR valve* jenis *angle globe valve*

1.4 Tujuan Permasalahan

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui performa yang dihasilkan oleh motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda.
2. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda.
3. Untuk mengetahui penurunan kadar *NOx* motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah jika ditambahkan *EGR valve* jenis *angle globe valve* pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Menambah pengetahuan sekaligus mengaplikasikan secara langsung pemanfaatan bahan bakar alternatif minyak jelantah
2. Menambah pengetahuan sekaligus mengaplikasikan secara langsung teknologi pereduksi emisi gas buang pada motor diesel, khususnya untuk teknologi *EGR valve* jenis *angle globe valve*.
3. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh karakteristik proses pembakaran pada motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah serta perubahannya setelah ditambah *EGR valve* jenis *angle globe valve* untuk pereduksi emisi *NOx*.
4. Dapat memberikan refrensi yang baik tentang penggunaan bahan bakar biodiesel minyak jelantah untuk motor diesel dengan penambahan sistem *EGR valve* jenis *angle globe valve* agar kadar *NOx* dalam emisi gas buang dapat direduksi secara maksimal.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II

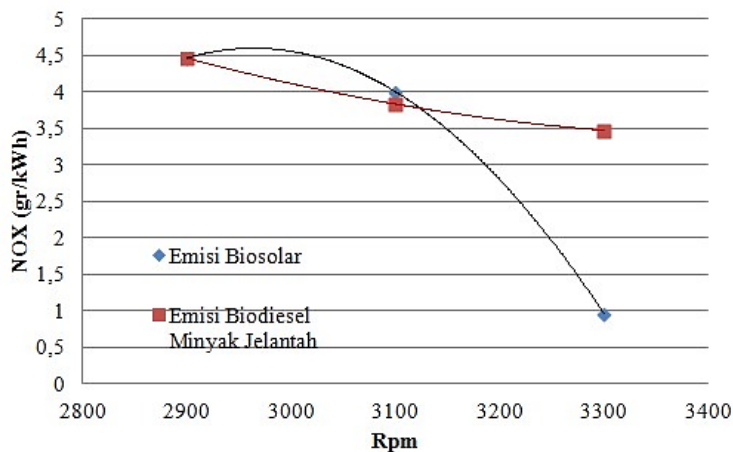
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Krisis energi terutama bahan bakar fosil sedang menjadi isu yang banyak disorot dewasa ini, kelangkaan bahan bakar minyak yang sering terjadi khususnya di Indonesia sangat mengkhawatirkan, terutama di daerah Indonesia timur. Baik karena jumlah pasokan yang tersedia ataupun karena kendala distribusi. Bahan bakar minyak bumi diperkirakan akan habis jika dieksploitasi secara besar besaran. Ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi dapat dikurangi dengan cara memanfaatkan bahan bakar Biodiesel, dimana bahan bakunya masih sangat besar dan dapat dikembangkan (Darmanto, Ireng, 2006). Karena peningkatan kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) mengakibatkan penurunan cadangan BBM fosil (Evy, Fatmir 2012).

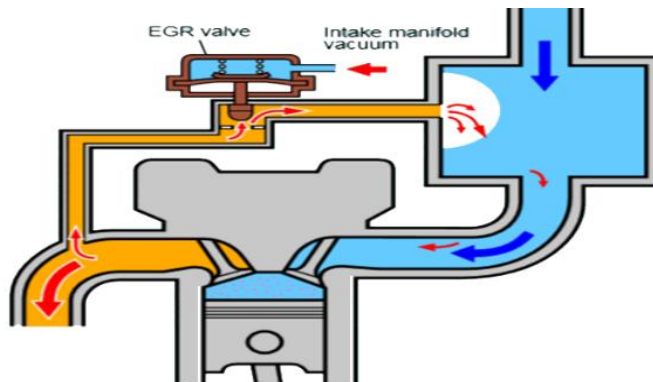
Salah satu jalan keluar permasalahan tersebut adalah penggunaan bahan bakar alternatif. Dewasa ini sudah sangat banyak energi alternatif yang dikembangkan, salah satunya adalah biodiesel dari bahan dasar minyak jelantah. Minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel sangat berpotensi. Pada tahun 2011, potensi minyak jelantah di Indonesia rata-rata dapat mencapai 20% dari total konsumsi minyak goreng, sehingga per tahun dapat mencapai satu juta kiloliter (Imaduddin, 2011). Berdasarkan hasil evaluasi kelayakan beberapa bahan baku, penelitian yang dilakukan oleh Ruhyat dan Firdaus (2006) telah menentukan bahwa jenis minyak nabati sebagai bahan dasar biodiesel yang paling layak digunakan adalah minyak goreng bekas (minyak jelantah).

Namun penggunaan dari biodiesel minyak jelantah bukan tanpa kendala dan masalah. Hal ini berhubungan dengan kadar emisi yang dihasilkan oleh biodiesel minyak jelantah khususnya kandungan NO_x . Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wakhid (2006), Penggunaan bahan bakar biodiesel minyak jelantah terhadap hasil kadar NO_x cenderung mengalami penurunan seiring dengan naiknya putaran motor diesel. Jika dirata-rata pada setiap peningkatan putaran, kadar NO_x turun sebesar 13,4%. Kadar NO_x paling tinggi terjadi pada putaran 2900 rpm dengan beban penuh dengan nilai kadar emisi NO_x sebesar 4,46 gr/kWh, sedangkan kadar NO_x paling rendah terjadi pada putaran 3300 rpm dengan beban penuh dengan nilai kadar NO_x sebesar 3,47 gr/kWh. Dari hasil analisa secara keseluruhan, jika dibandingkan antara penggunaan kedua bahan bakar, biosolar PERTAMINA memiliki penurunan NO_x yang lebih baik daripada biodiesel minyak jelantah pada setiap peningkatan putaran motor diesel. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Grafik perbandingan putaran (rpm) dengan NO_x pada beban penuh (Arif, 2013)

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan teknologi pereduksi emisi gas buang NO_x pada motor diesel. Cara kerja *EGR* adalah mensirkulasikan sebagian gas buang kembali ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* seperti yang terlihat pada gambar 2.2 (Senthilkumar, dkk, 2013). Gas buang motor diesel bersifat *inert gas*. Pencampuran udara dengan gas buang akan mengurangi konsentrasi oksigen dan menurunkan temperatur pembakaran adiabatik pada ruang bakar (Dlukha, 2012). Penambahan gas buang pada ruang bakar akan menghasilkan penurunan emisi NO_x . Penambahan rasio *EGR* sampai 30% akan menurunkan nilai NO_x sampai 91,12% (Gerianto, Ariana, Khairul, 2009).



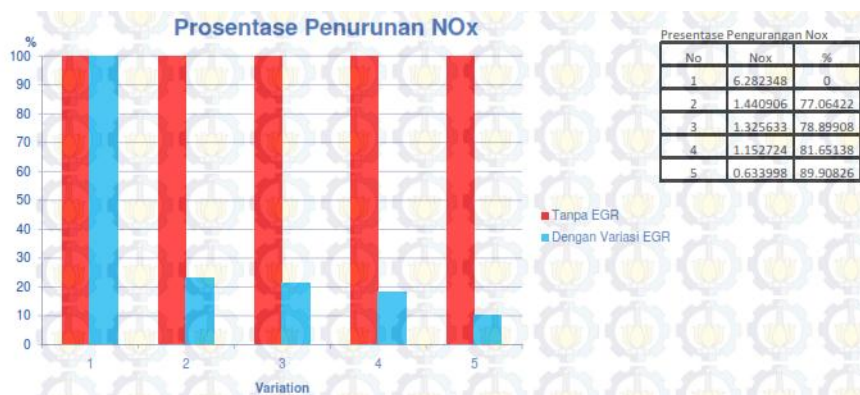
Gambar 2.2. *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* (Senthilkumar, dkk, 2013)

Teknologi penunjang *EGR* juga sudah banyak ditemukan. Diantaranya penambahan *water scrubber*. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Hendrajat, (2011), *EGR* yang di tambahkan dengan *water scrubber* dapat lebih mengoptimalkan *EGR* itu sendiri dalam menurunkan temperature gas buang yang akan di manfaatkan

lagi untuk proses pembakaran. Pada gambar 2.3 dan 2.4 memperlihatkan pengaruh penggunaan *EGR* serta variasi dari penggunaan beberapa sistem penunjang *EGR*

Tabel 2.1 Hasil uji emisi NO_x (Hendrajat, 2011)

No	Variasi Pengujian	NO_x	PM	Fuel/20 ml
1	Tanpa EGR	109	20	1'22"
2	EGR dengan scrubber dan filter	11	20	1'12"
3	EGR dengan scrubber tanpa filter	23	39,6	1'20"
4	EGR dengan filter tanpa scrubber	20	35	1'15"
5	EGR tanpa filter dan scrubber	25	37,6	1'20"

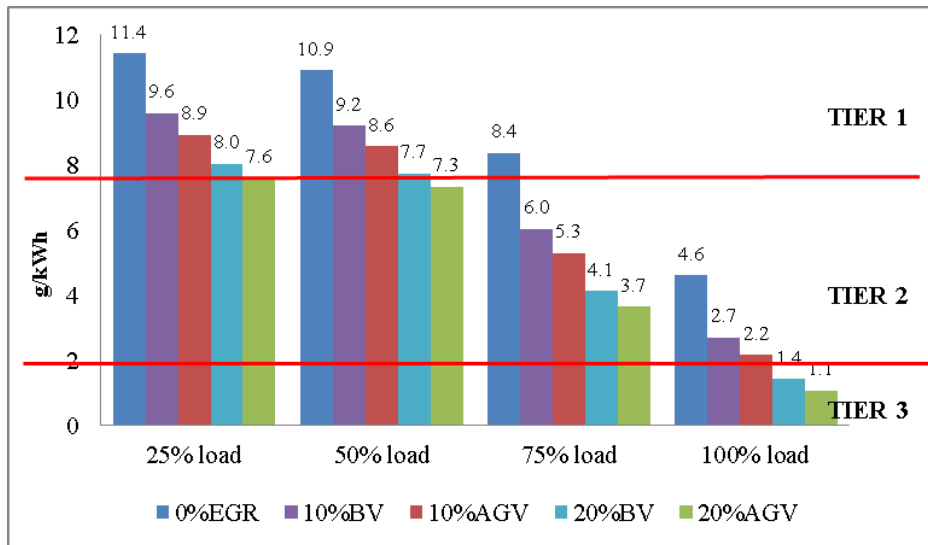


Gambar 2.3 Hasil uji emisi NO_x dengan variasi *EGR* (Hendrajat, 2011)

Selain penambahan water scrubber dan filter, *EGR* juga dikembangkan dengan penggunaan *EGR valve* jenis *angle globe valve* oleh Yasin, 2016. Komponen yang menyusun sistem *EGR* terdiri atas pipa yang menghubungkan antara saluran exhaust dan *intake manifold*. Di antara saluran itu terdapat *EGR valve*. *EGR valve* merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem *EGR*. Fungsi dari komponen ini adalah untuk mengatur jumlah massa gas buang yang dapat disalurkan menuju *intake manifold*. Jumlah massa gas buang yang disalurkan disesuaikan berdasarkan RPM dan beban yang dialami oleh motor. Prosentase *EGR* (%*EGR*) adalah jumlah massa gas buang yang disirkulasikan [$\dot{m}(EGR)$] dibandingkan dengan total udara keseluruhan yang dapat digunakan pada proses pembakaran [$\dot{m}(i)$] (Salhab, 2012).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yasin, 2016 menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve* (AGV) dan dibandingkan dengan jenis *ball valve* (BV) dengan variasi prosentase bukaan *valve* 0%, 10%, dan 20%. Penelitian juga mempunyai acuan dari MARPOL Annex VI tentang kandungan NO_x maksimal dalam *TIER*, *TIER 2* dan *TIER 3*. Hasil yang didapatkan Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 0%*EGR* mulai dari

beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 11,4 g/kWh, 10,9 g/kWh, 8,4 g/kWh dan 4,6 g/kWh. Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 10%AGV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 8,9 g/kWh, 8,6 g/kWh, 5,3 g/kWh dan 2,2 g/kWh. Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 20%AGV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 7,6 g/kWh, 7,3 g/kWh, 3,7 g/kWh dan 1,1 g/kWh.



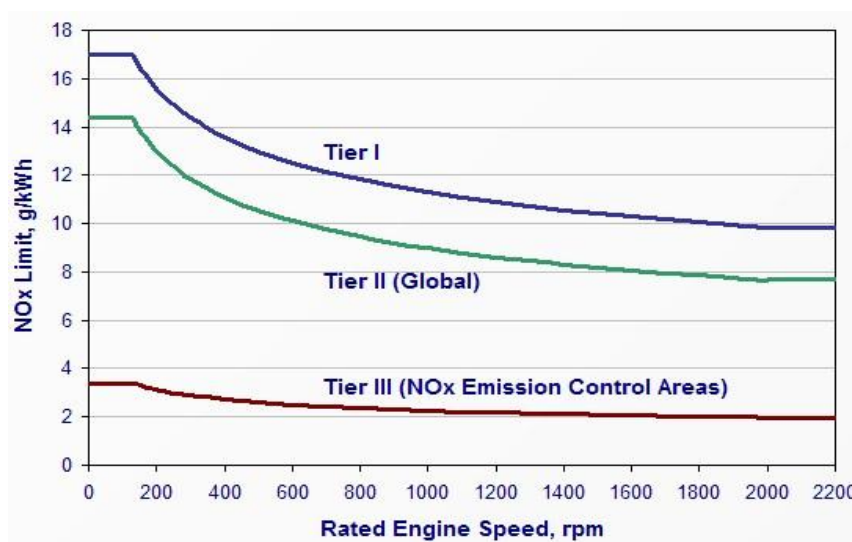
Gambar 2.4. Diagram batang kadar NO_x pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi (Yasin,2016)

Standart dari aturan emisi yang digunakan berasal dari *IMO*. *IMO* (*international maritime organization*) merupakan badan internasional dari Persatuan Bangsa Bangsa (PBB) yang dibentuk dengan tujuan mempromosikan tentang *maritime safety*. *IMO* didirikan oleh konferensi internasional di Geneva pada tahun 1958. Salah satu peraturan dari *IMO* yang mengatur tentang polusi yang diakibatkan oleh kapal adalah *MARPOL*. Pada bulan september 1997 *MARPOL* telah mengalami amandemen dan penambahan isi yaitu Annex VI mengenai peraturan untuk pencegahan polusi udara dari kapal. *MARPOL* Annex VI ini membatasi kandungan NO_x dan SO_x yang diakibatkan oleh gas buang pada mesin kapal dan melarang semua emisi yang bisa menyebabkan kerusakan lapisan ozon. Tabel dan grafik mengenai standar emisi NO_x yang ditunjukkan dengan batasan-batasan *Tier I* sampai *Tier III* bisa dilihat pada tabel 2.2. dan gambar 2.5

Tabel 2.2. Batasan Emisi NO_x pada *MARPOL Annex VI* (IMO, 2008)

Tier	Date	NO _x Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NO_x Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

Gambar 2. 5 Grafik standar batasan emisi NO_x *MARPOL Annex*

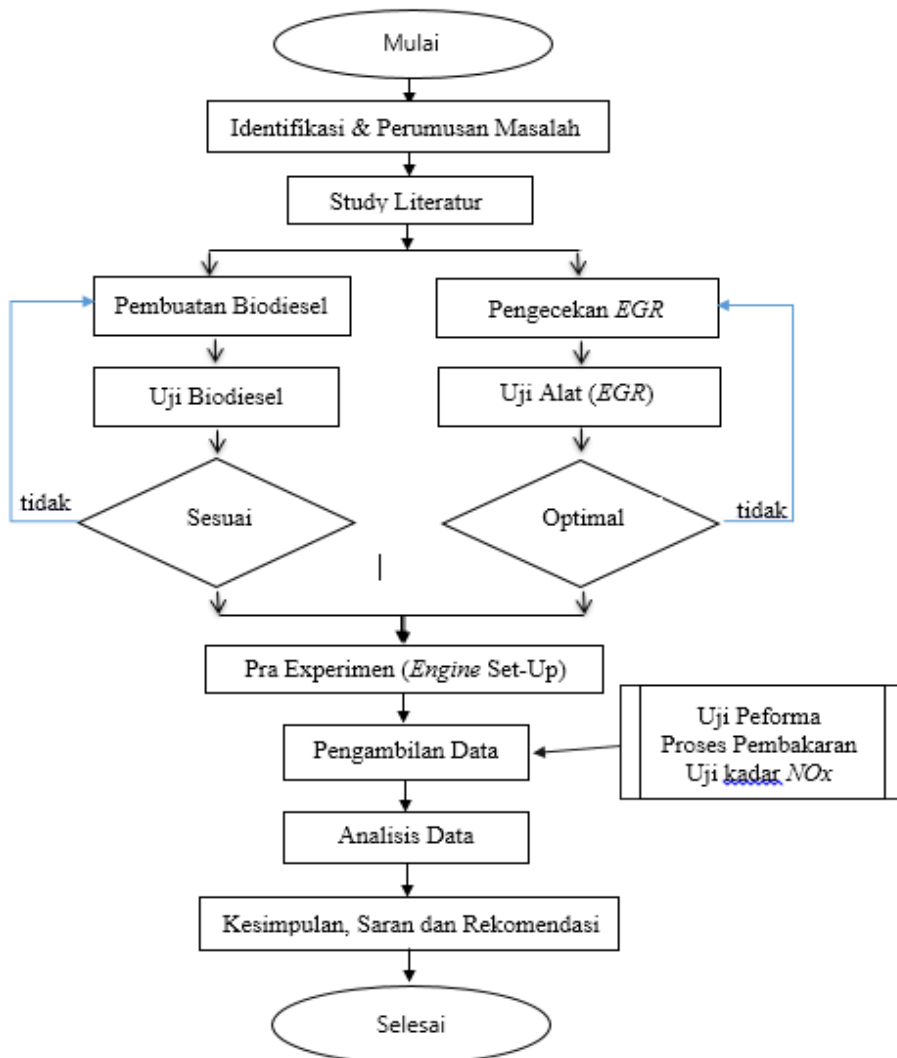
Standar emisi *IMO* secara umum mengacu pada standar dari *Tier I* sampai *Tier III*. Amandemen pada *MARPOL Annex VI* pada bulan Oktober 2008 menyebutkan bahwa

1. Ketentuan kualitas bahan bakar baru dimulai pada bulan Juli 2010.
2. Standar emisi NO_x pada *Tier II* dan *Tier III* diberlakukan untuk mesin-mesin terbaru.
3. Ketentuan NO_x untuk *Tier I* diberlakukan untuk mesin yang sudah ada sebelum tahun 2000

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Sebelum eksperimen dilaksanakan, terlebih dahulu akan dilakukan proses pembuatan bahan bakar yang berupa biodiesel murni dari minyak jelantah serta pemasangan sistem *Exhaust Gas Recirculation Valve* jenis *Angle Globe Valve*. Adapun diagram metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *EGR* pada motor diesel yang berbahan bakar biodiesel dengan bahan dasar minyak jelantah dari hasil uji performa dan penurunan jumlah *NOx*. Dari data dan literature yang didapat sebelumnya, kandungan *NOx* pada gas buang motor diesel berbahan bakar biodiesel

minyak jelantah murni lebih tinggi dari pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar solar konvensional.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah dengan mempelajari teori-teori yang menunjang dalam permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini. Teori-teori yang diperlukan diantaranya karakteristik biodiesel minyak jelantah, emisi yang dihasilkan dari motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah, khususnya kandungan NO_x . Selain itu literature mengenai cara kerja dari sistem *Exhaust Gas Recirculation* serta dampak penambahan *EGR* itu sendiri terhadap emisi motor diesel khususnya NO_x .

3.3 Persiapan Alat

3.3.1 Pembuatan Biodiesel

Pembuatan biodiesel ini memerlukan persiapan perlengkapan yang akan digunakan. Alat yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan merupakan peralatan dalam skala laboratorium yang terdiri dari peralatan transesterifikasi diantaranya

- a. kompor
- b. *thermometer*
- c. gelas ukur
- d. gelas kaca
- e. pengaduk

Sementara untuk bahan yang diperlukan untuk penelitian ini meliputi

- a. minyak lemak
- b. aquades
- c. KOH
- d. *Methanol*

Pembuatan biodiesel dilakukan yang pertama dengan proses pemanasan minyak jelantah. Minyak dipanaskan sampai suhu sekitar 55 - 65 derajat, dipastikan panas rata dengan cara diaduk terus menerus. Pada proses pembuatan ini minyak jelantah yang akan di proses untuk menjadi biodiesel adalah 750 ml setiap sesi.



Gambar 3.2. Proses Pemanasan Minyak Jelantah

Selama proses pemanasan, siapkan larutan, yaitu campuran methanol dan KOH. Pemilihan KOH karena merupakan katalis basa kuat yang biasa digunakan dalam

penelitian. Untuk pencampuran minyak jelantah 750 ml, diperlukan campuran methanol 375ml dan KOH 3,75gram



Gambar 3.3. Larutan Metoksida

Larutan tersebut nantinya akan di campurkan dengan minyak yang sudah dipanaskan pada suhu tersebut. Pada suhu tersebut, penambahan larutan metoksida akan membuat gliserin akan terpisah dari biodiesel. Proses terpisahnya gliserin dari biodiesel (transesterifikasi) tersebut diawali dengan proses mixing. Proses mixing dilakukan dengan pengadukan campuran metoksida dan minyak jelantah secara manual dan temperature dijaga pada 55-56 derajat celcius. Pengadukan dilakukan sekitar 30-45 menit sampai tercampur sempurna.



Gambar 3.4. Proses Pencampuran

Dilanjutkan dengan proses selanjutnya adalah *settling*, yaitu pengendapan. Dimana nantinya gliserin akan turun mengendap dibawah, dan biodiesel berada diatas. Campuran tersebut didiamkan sekitar 8 jam agar terjadi pengendapan gliserin.



Gambar 3.5. Campuran Minyak Jelantah dan Metoksid



Gambar 3.6. Proses *Settling*

Pada saat proses *settling*, akan didapatkan gliserin 250 ml, 670ml biodiesel, dan sisanya mengalami penguapan atau loses saat pemisahan. Hasil biodiesel yang didapat akan dilakukan proses pencucian. Pencucian ini dimaksudkan untuk menghilangkan sabun dari sisa basa dan bahan lain agar dihasilkan biodiesel yang murni. Biodiesel akan berkurang cukup banyak pada saat pencucian ini. Pencucian dilakukan selama 4 kali.



Gambar 3.7. Hasil pencampuran Biodiesel dengan Aquades



Gambar 3.8. Proses pencucian 1-4

Setelah proses pencucian, dilakukan proses terakhir yaitu pengeringan. Proses ini dimaksudkan untuk menghilangkan air sisa pencucian dan proses pembuatan. Minyak akan dipanaskan pada temperatur 100-110 derajat selama beberapa saat sampai air yang terkandung pada biodiesel mendidih dan menguap.



Gambar 3.9. Proses Pengeringan

Setelah proses diatas akan dihasilkan biodiesel minyak jelantah murni atau disebut B100. Total biodiesel yang didapat setiap sesi rata rata adalah 400-450ml



Gambar 3.10. Biodiesel Minyak Jelantah Murni

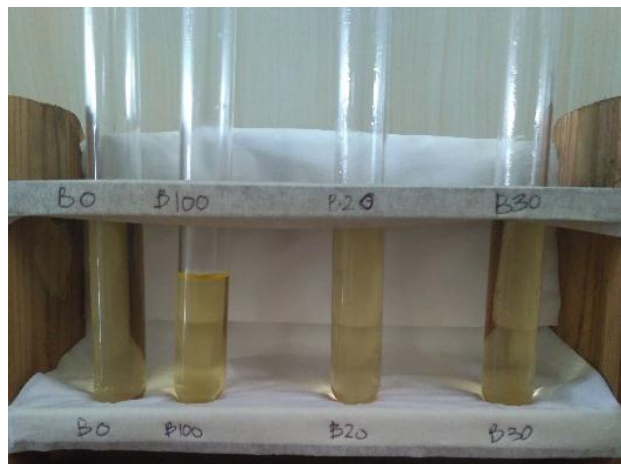
Dari biodiesel murni tersebut akan dihasilkan adalah 2 jenis biodiesel dengan campuran yang berbeda yang akan digunakan untuk penelitian. Yang pertama adalah campuran 20% minyak jelantah dan 80% Dexlite Pertamina atau disebut B20, yang kedua adalah campuran 30% minyak jelantah dan 70% Dexlite Pertamina atau disebut B30.

3.3.1 Pengujian Biodiesel

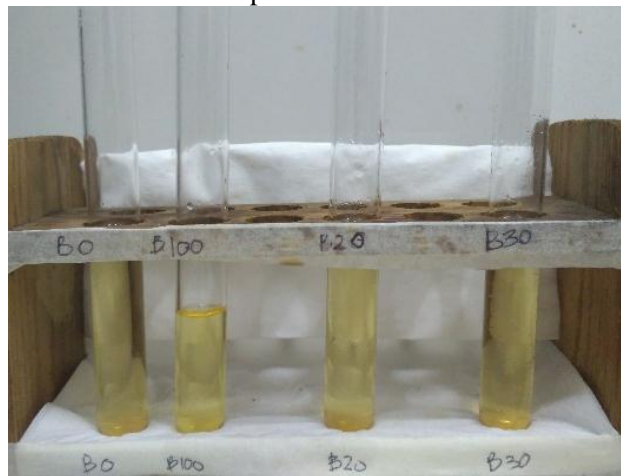
Pengujian biodiesel dimaksudkan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan sudah layak untuk digunakan atau belum. Ada 2 jenis pengujian dalam penelitian ini. Yang pertama pengujian dengan cara pencampuran dengan Dexlite Pertamina, yang kedua adalah uji karakteristik biodiesel.

a. Pencampuran Biodiesel dengan Dexlite

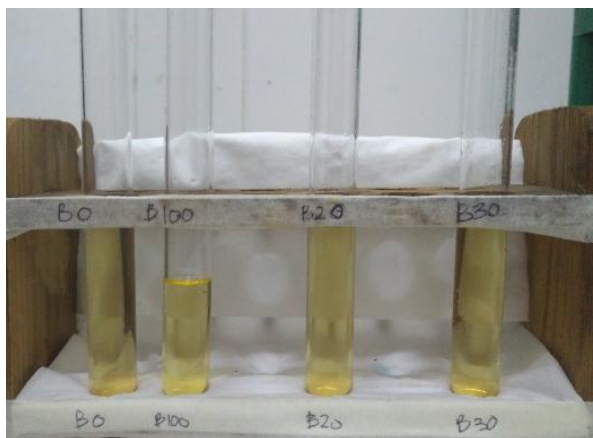
Pengujian ini dilakukan secara sederhana dengan mencampurkan biodiesel dengan dexlite sesuai komposisi jenis bahan bakar yang akan dibuat. Biodiesel akan dicampurkan dalam gelas reaksi, di kocok hingga tercampur dan di diamkan selama beberapa hari. Dilakukan pengamatan setiap harinya untuk mengetahui apakah ada perpisahan antara biodiesel dengan dexlite tersebut. Jika tidak terjadi pemisahan atau separation, maka dapat dikatakan biodiesel sudah bisa digunakan.



Gambar 3.11. Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari-1



Gambar 3.12. Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari-3



Gambar 3.13. Pencampuran Biodiesel & Dexlite hari-5

Dari pengamatan langsung dan foto, terlihat tidak ada pemisahan atau separation sampai hari 5 pencampuran biodiesel dan dexlite. Dari uji pencampuran ini biodiesel siap digunakan.

b. Uji Karakteristik Biodiesel

Pada tahap ini merupakan tahap uji karakteristik yang dilakukan dalam skala laboratorium. Karakteristik utama yang diuji diantaranya adalah parameter untuk memenuhi karakteristik standar menurut SNI. Ada beberapa parameter dalam pengujian SNI, namun pada penelitian kali ini hanya akan diuji 4 titik parameter. Pengujian dilakukan di lab energy LPPM ITS. 4 titik pengujian yang dilakukan dilakukan antara lain:

1. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Pada motor diesel *viskositas* berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah *viskositas* bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir.

2. Densitas

Berat jenis (*density*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat (kg) per satuan volume (m^3) bahan bakar. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur temperature dan tekanan yang dialami oleh bahan bakar biodiesel. Semakin tinggi tekanan yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi temperatur yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin menurun.

3. Titik nyala (flash point)

Titik nyala adalah temperatur terendah suatu bahan bakar yang pada saat dipanaskan, maka uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala bila diberikan kompresi yang tinggi. Titik nyala pada standard biodiesel memiliki batas nilai minimal $100^{\circ}C$.

4. Cetane Number

Cetane number (bilangan setana) adalah suatu indeks yang biasa digunakan bagi bahan bakar motor diesel, untuk menunjukkan tingkat kepekaannya terhadap detonasi (ledakan). Bahan bakar dengan bilangan setana yang tinggi akan mudah berdetonasi pada motor diesel.

Dari hasil uji karakteristik tersebut, nantinya diharapkan dapat memenuhi syarat syarat biodiesel yang di standartkan oleh SNI.

Tabel 3.1. Standart Biodiesel SNI

No	Parameter & Satuannya	Batas Nilai
1.	Densitas pada 15°C, Kg/m ³	850–890
2.	Viskositas kinematik pada 40°C (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka Setana	Min. 51
4.	Titik nyala (flash point) pada 0°	Min.100
5.	Titik kabut (Cloud Point)	Max. 18
6.	Titik Tuang (Pour Point)	Max. 18
7.	Korosi bilah tembaga (3 jam, 500°C)	Max.3
8.	Residu karbon,%-berat,	Max.0,05
9.	Air dan sediman,%-volume	Maks.0,05
10.	Temperatur distilasi 90%, 0C	Maks.360
11.	Abu tersulfatkan,%-berat	Maks 0,02
12.	Belarang, ppm-b (mg/kg)	Maks.100
13.	Fosfor,ppm-b (mg/kg)	Maks.10
14.	Angka asam,mg-KOH/gr	Maks.0,8
15.	Gliserol bebas,%-berat	Maks.0,02
16.	Gliserol total,%-berat	Maks.0,24
17.	Kadar ester alkil,%-berat	Min.96,5
18.	Lower Heating Value, BTU/lbm	Maks.18288

3.3.2 Pengecekan alat *EGR*

EGR yang digunakan pada penelitian ini adalah *EGR* valve jenis angle globe valve. *EGR* ini sebelumnya digunakan oleh Yasin (2016) pada penelitian sebelumnya. Pengecekan sistem *EGR* dimaksudkan untuk memastikan kelengkapan alat dan memastikan alat bisa digunakan. Berdasarkan penggunaan penelitian sebelumnya, alat masih bisa bekerja secara optimal. Beberapa bagian yang terdapat pada *EGR* valve angle globe valve antara lain:

1. Angle globe valve



Gambar 3.14. Angle globe valve

2. *EGR* hose and elbow set



Gambar 3.15. *EGR* hose and elbow set

3. *EGR* set



Gambar 3.16. *EGR* Set

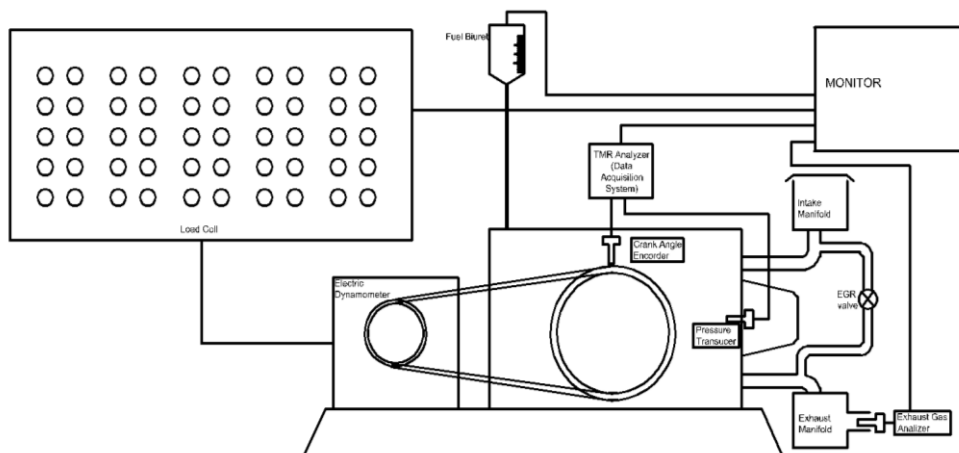
Penggunaan alat *EGR* ini sama seperti penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, *EGR* sudah disetting dengan bantuan parameter putaran. Yaitu setiap kali putaran poros valve, bukaan *EGR* adalah 10% dan kelipatannya. Hasil ini diperoleh dari pengukuran melalui manometer dan sudah dilakukan selama beberapa kali percobaan.

3.3.2 Uji Alat *EGR*

Pengujian alat *EGR* ini dilakukan secara sederhana, untuk mengecek bekerja atau tidak valve yang digunakan, dan lancar atau tidak aliran udara yang akan dialirkan. Memastikan valve bekerja dan saluran pipa dapat di aplikasikan di motor diesel yang akan digunakan untuk ujicoba. Selain itu, pengujian alat juga dilakukan untuk memastikan *EGR* ini optimal tanpa ada kebocoran saluran udara gas buang ke *intake manifold*.

3.4 Engine Set up (Pra Experimen)

Proses Engine SET UP disini adalah pengaplikasian *EGR* pada motor diesel YANMAR tipe TF 85 MH-di. Selain pemasangan *EGR*, juga dilakukan pemasangan alat alat uji seperti *Electric Dynamno* untuk mengetahui peforma, *Combustion Analyzer*. Pada pengujian peforma ini ada beberapa sensor yang dipasang, diantaranya *Hardware Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-Rotary Encoder* pada motor diesel YANMAR tipe TF 85 MH-di. Kemudian dilakukan proses pengistalan *software/tool* yang bernama *TMR Instrumen* untuk menampilkan hasil proses pembakaran motor di layar computer untuk mengetahi proses pembakaran. Dan yang ketiga adalah *Exhaust Gas Analyzer* untuk mengetahui kadar emisi *NOx*. Dalam tahap ini, diharapkan semua peralatan dan bahan sudah siap sehingga dapat mempermudah dalam proses pengambilan data.



Gambar 3.17. Desain Eksperimen

3.5 Pengambilan Data (Eksperimen)

Proses eksperimen ini dilakukan ketika semua sudah disiapkan, meliputi bahan bakar berupa biodiesel, engine set up beserta alat penunjang sudah selesai dilakukan antara lain:

3.5.1 Uji Performa

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui daya, torsi dan *SFOC* dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang telah disediakan sebelumnya, dengan tambahan sistem *EGR* pada motor Diesel. Uji Peforma nanti akan dilakukan dengan berbagai variable. Diantaranya

a. Variabel Tetap

- Kadar biodiesel B20 & B30
- *RPM engine*

Engine yang dipakai mempunyai putran maksimal, ditentukan putaran yang akan mejadi patokan adalah 5 titik putaran teratas, yaitu pada 1800, 1900, 2000, 2100, 2200 RPM

b. Variabel Berubah

- Beban
- *Valve bukaan EGR*

3.5.2 Uji Emisi (Kadar NO_x) dan Proses Pembakaran

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui kandungan NO_x pada emisi motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang telah disediakan sebelumnya, dengan tambahan sistem *EGR* pada motor Diesel. Uji Peforma nanti akan dilakukan dengan berbagai variable. Diantaranya

a. Variabel Tetap

- Kadar biodiesel B20 & B30
- *RPM*

Engine yang dipakai mempunyai putran maksimal, ditentukan putaran yang akan mejadi patokan adalah 5 titik putaran teratas, yaitu pada 1800, 1900, 2000, 2100, 2200 RPM

b. Variabel Berubah

- Beban
- *Valve bukan EGR*

Metode pengetesan pada uji emisi dan proses pembakaran, titik RPM dan beban mengikuti prosedur pada aturan *IMO Marpol Annex VI*. Tipe pengujian yang dipilih adalah *test cycle type E2*, Metode pengujian untuk tipe E2 adalah seperti yang terlihat pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. *MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle*

Test Cycle Type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weight Factor	0.2	0.5	0.15	0.15

*) Keterangan:

- Untuk mesin diesel kecepatan konstan dan digunakan untuk penggerak utama atau digunakan sebagai diesel electric menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *controllable-pitch propeller* menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *auxiliary engines* kecepatan konstan menggunakan *Test Cycle D2*.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil eksperimen dan paper yang sudah dilakukan, dari tahap pra eksperimen hingga tahap eksperimen. hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan performa motor, data kadar *NOx* pada penggunaan *EGR* pada setiap RPM dan bukaan katup yang diujikan.

3.7 Analisa & Pembahasan

Konsentrasi untuk analisa dari penelitian ini adalah untuk mengamati penurunan kandungan *NOx* dari *engine* dengan tambahan *EGR* dalam bahan bakar minyak jelantah pada setiap RPM yang di tentukan dengan bukaan *valve* pada *EGR*.

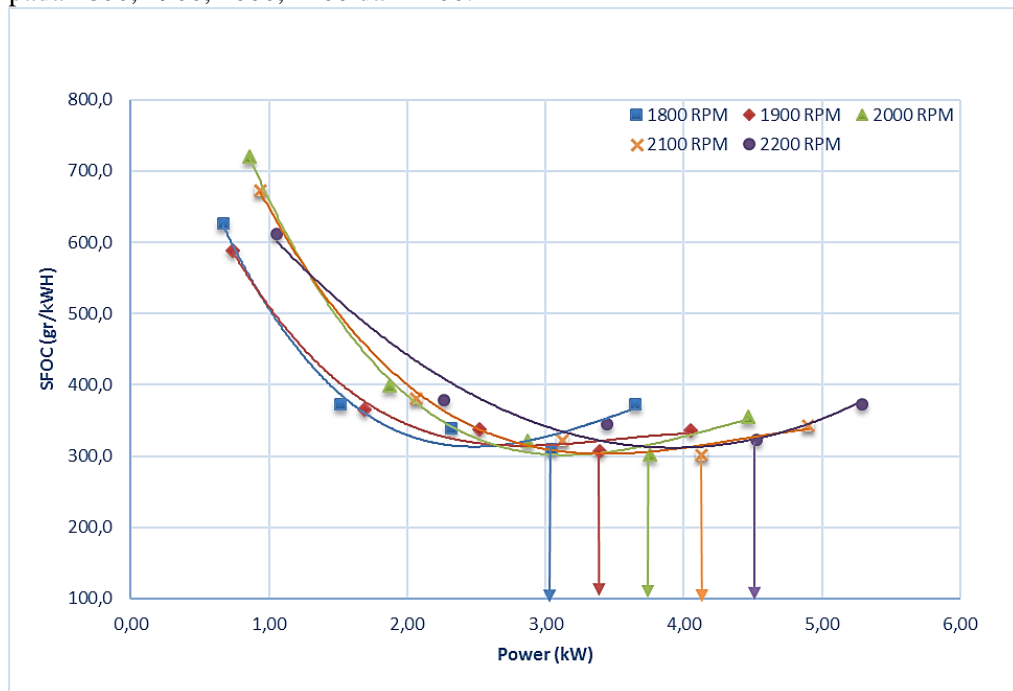
3.8 Kesimpulan & Saran

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Performa Motor Diesel dengan Bahan Bakar B20 & B30 pada bukaan Valve 10% , 20% dan 30% Cold EGR

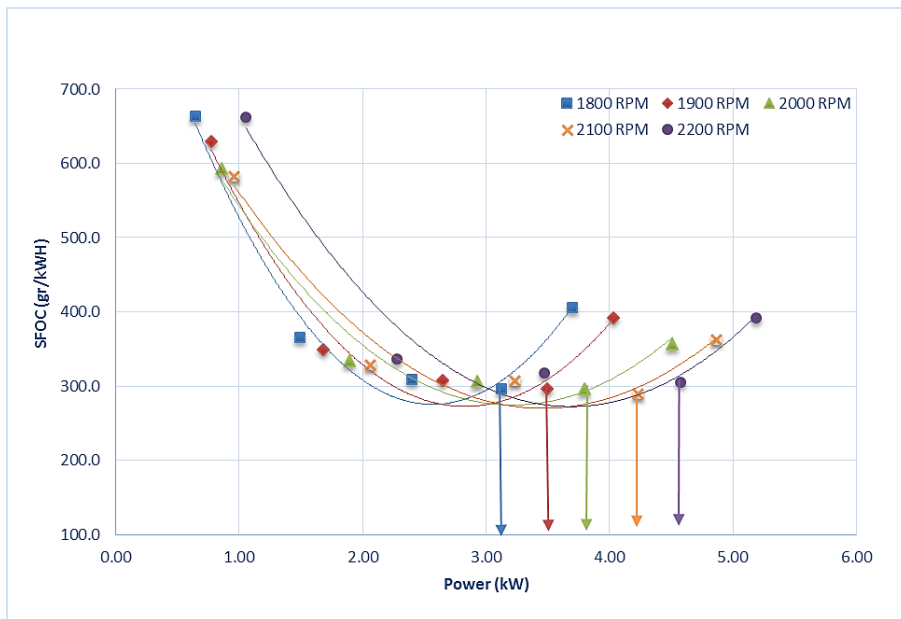
Analisa data dari hasil performa meliputi grafik perbandingan daya, torsi dan BMEP. Proses pengambilan data performa diperoleh dari proses eksperimen performa dari motor diesel dengan penambahan sistem cold EGR variasi jenis bahan bakar dan prosentase bukaan valve cold EGR. Grafik perbandingan daya, torsi serta BMEP dibentuk setelah menentukan titik titik lembah dalam grafik *SFOC* terhadap daya dari masing masing titik ujicoba campuran bahan bakar dan bukaan katup EGR. Titik lembah dari grafik yang menunjukkan nilai *SFOC* terendah pada masing-masing RPM dianggap sebagai nilai *power* motor diesel 100%. Pada penelitian kali ini variabel RPM ditentukan pada 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200.



Gambar 4.1. Performansi *SFOC* dengan Power Bahan Bakar B0 atau Dexlite Murni pada 0% EGR

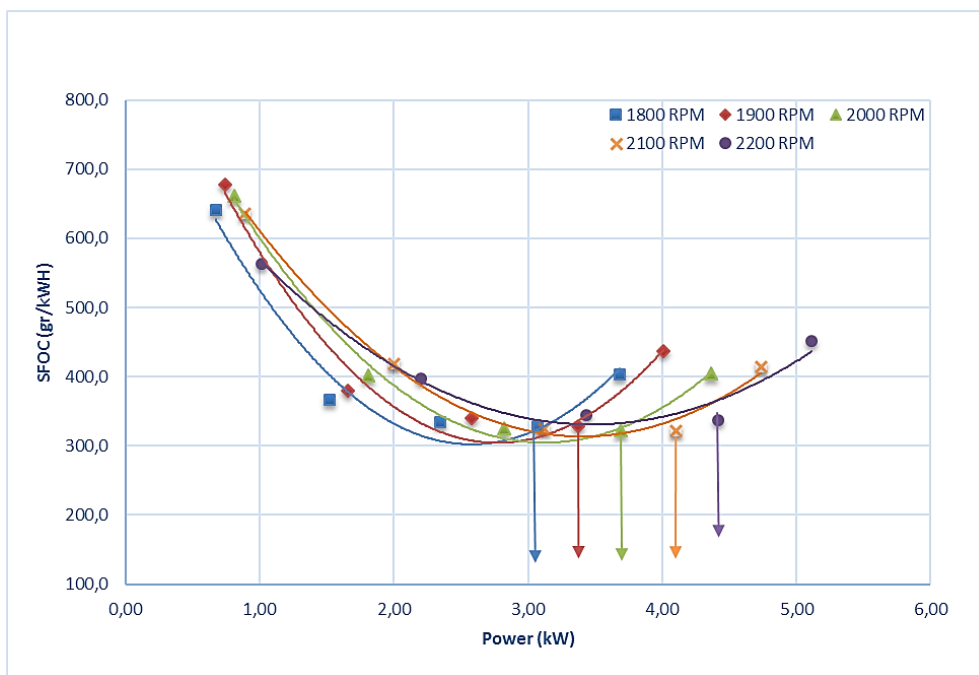
Grafik pada gambar 4.1 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B0 atau Dexlite PERTAMINA sebagai acuan awal pengambilan data tanpa menggunakan EGR atau 0% EGR, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 301,896 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 310,25 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 306,38 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 302,677 gr/kWh,

2100 RPM dengan nilai $SFOC$ 301,896 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai $SFOC$ 322,39 gr/kWh. Titik titik $SFOC$ terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% $power$.



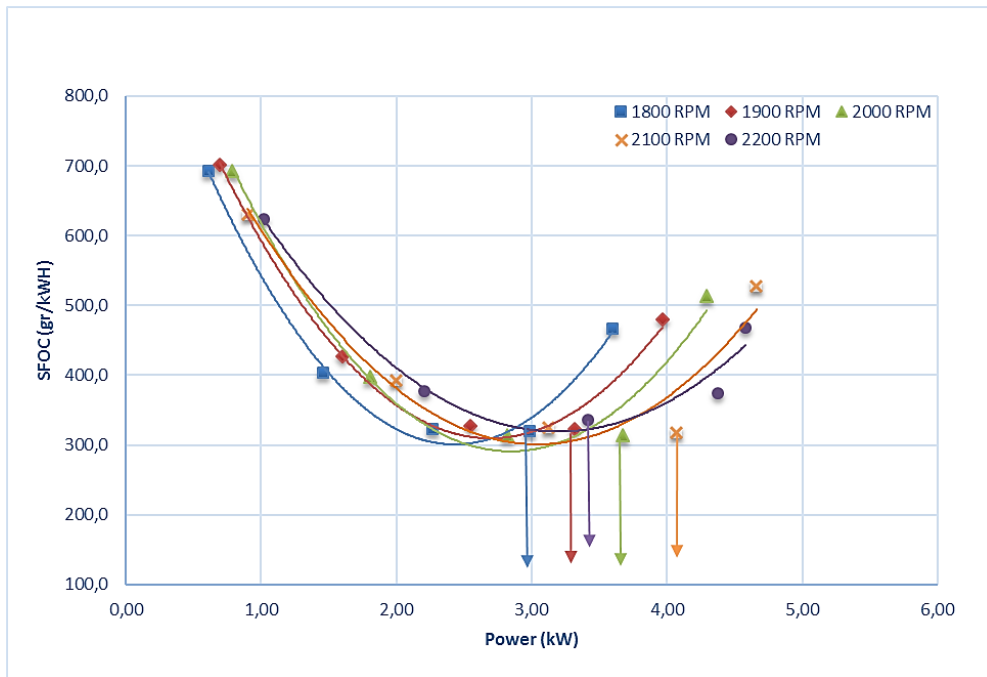
Gambar 4.2. Performansi $SFOC$ dengan $Power$ Bahan Bakar B20 pada 0% EGR

Grafik pada gambar 4.2 adalah grafik perbandingan $SFOC$ terhadap $power$ pada campuran bahan bakar B20 dengan menggunakan 0% EGR , menunjukkan lengkung $SFOC$ terhadap $power$ pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik $SFOC$ terendah terjadi pada 2100 RPM dengan nilai $SFOC$ sebesar 289,39 gr/kWh. Sementara untuk titik $SFOC$ terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai $SFOC$ 296,05 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai $SFOC$ 296,24 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai $SFOC$ 296,48 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai $SFOC$ 289,39 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai $SFOC$ 304,75 gr/kWh. Titik titik $SFOC$ terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% $power$.



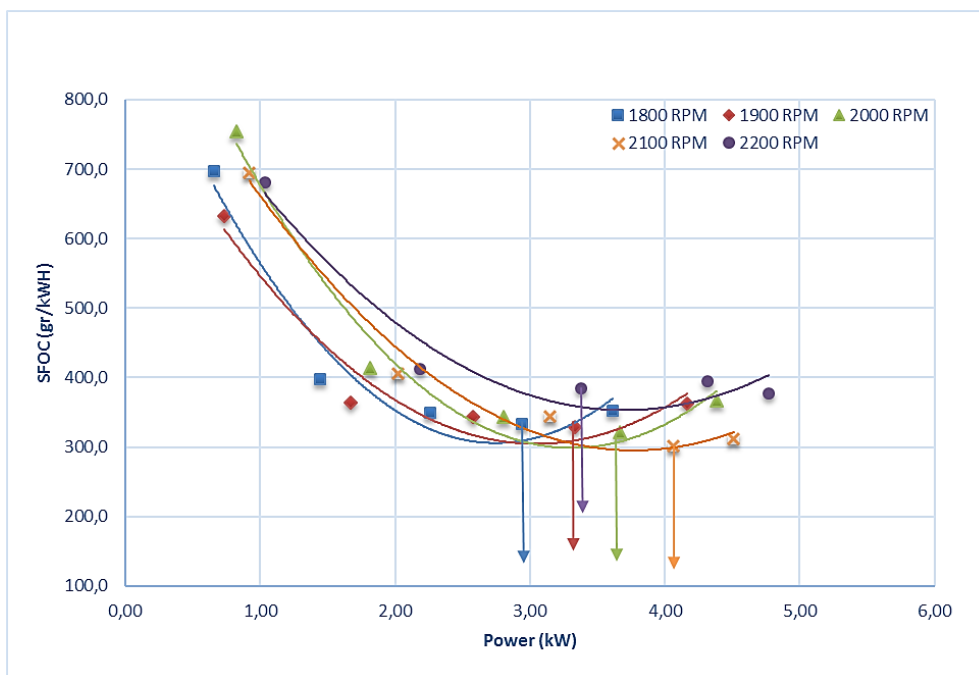
Gambar 4.3 Performansi *SFOC* dengan Power Bahan Bakar B20 pada 10% *EGR*

Grafik pada gambar 4.3 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B20 dengan menggunakan 10% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 322,69 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 329,02 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 329,09 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 322,69 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 321,26 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* 337,66 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



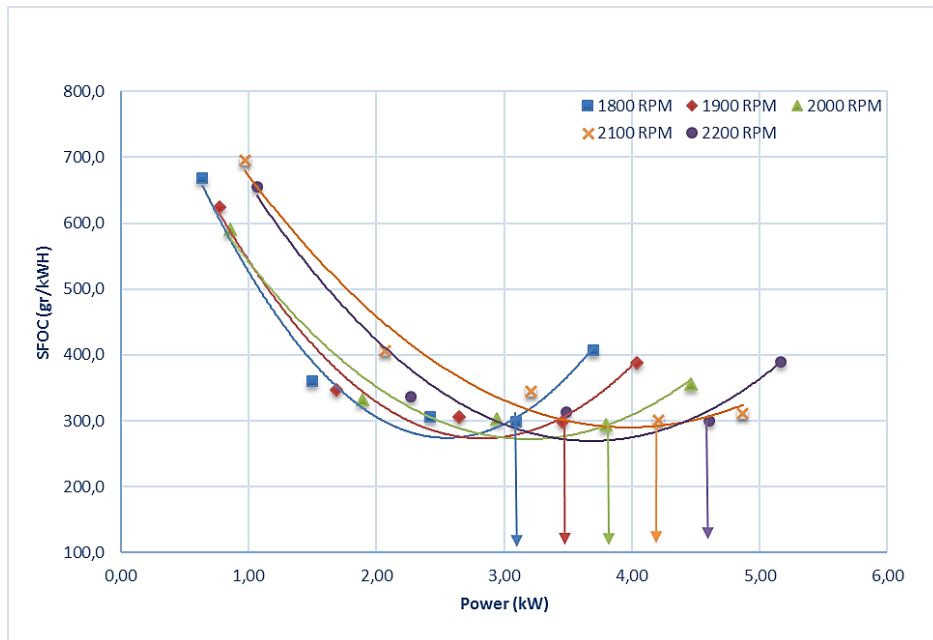
Gambar 4.4. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B20 pada 20% *EGR*

Grafik pada gambar 4.4 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B20 dengan menggunakan 20% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 318,19 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 319,72 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 323,48 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 313,95 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 318,19 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* 336,27 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



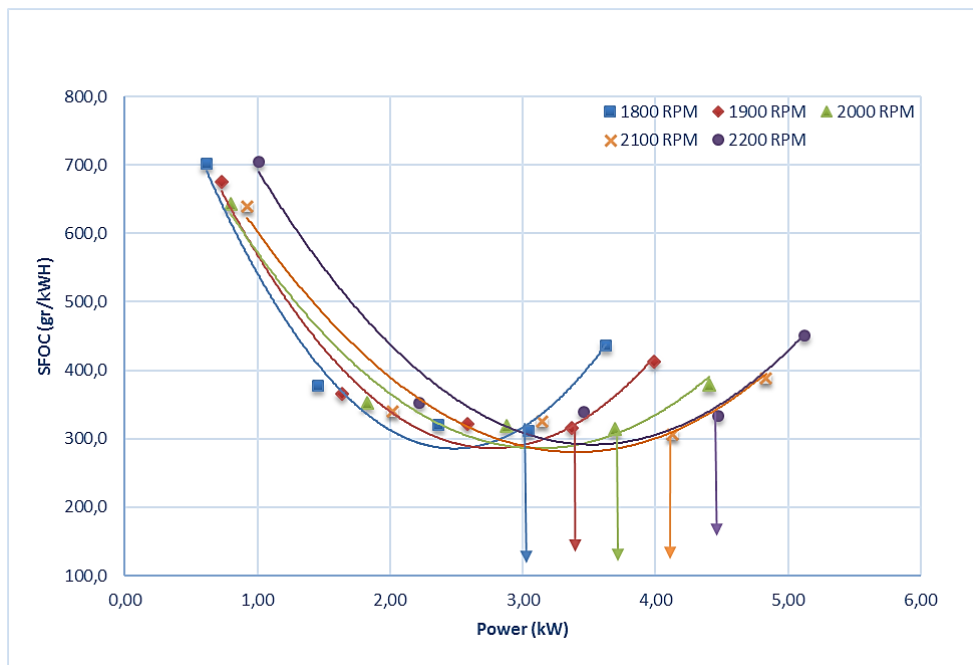
Gambar 4.5. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B20 pada 30% *EGR*

Grafik pada gambar 4.5 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B20 dengan menggunakan 30% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 321,08 gr/kWh. Titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 332,45 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 328,75 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 321,08 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 301,24 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 384,17 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



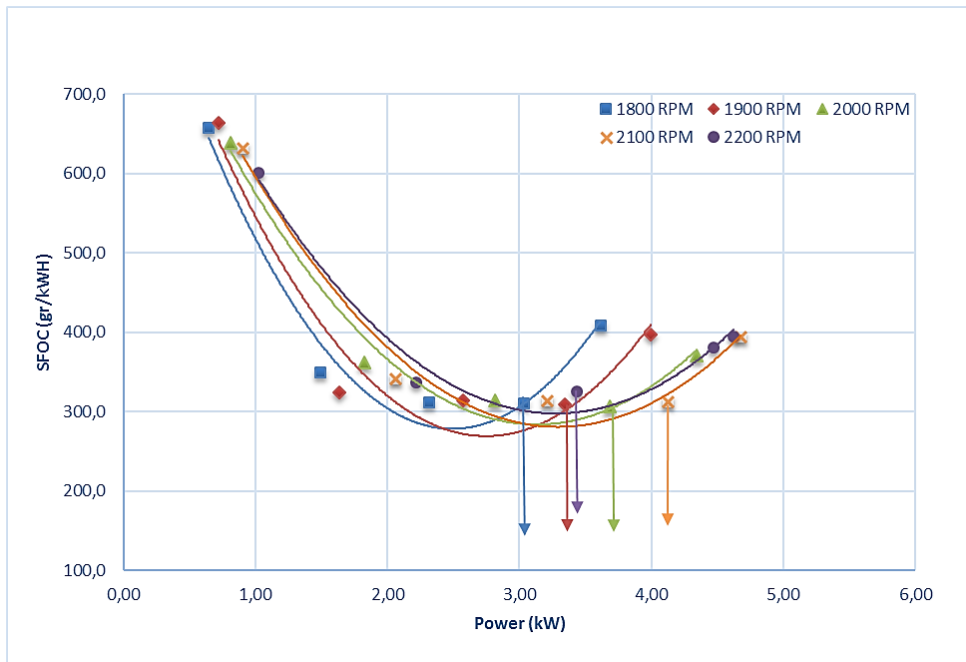
Gambar 4.6. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B30 pada 0% *EGR*

Grafik pada gambar 4.6 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B30 dengan menggunakan 0% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 294,62 gr/kWh. Titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 297,89 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 297,85 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 294,62 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 288,66 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 300,71 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



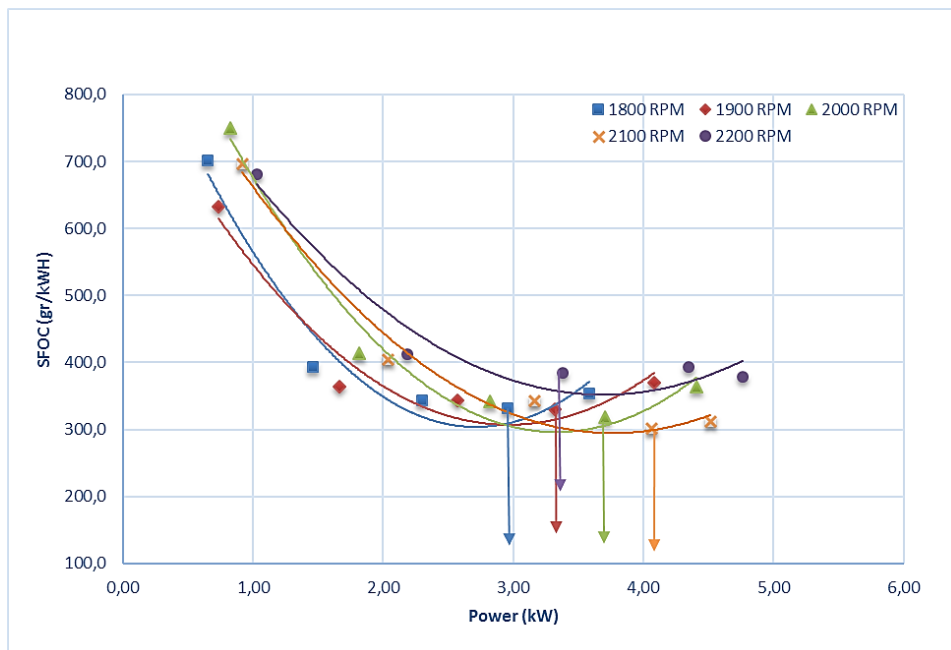
Gambar 4.7. Performansi *SFOC* dengan Power Bahan Bakar B30 pada 10% *EGR*

Grafik pada gambar 4.7 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B30 dengan menggunakan 10% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 313,78 gr/kWh. Titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 311,30 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 315,85 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 313,78 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 305,86 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 332,90 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



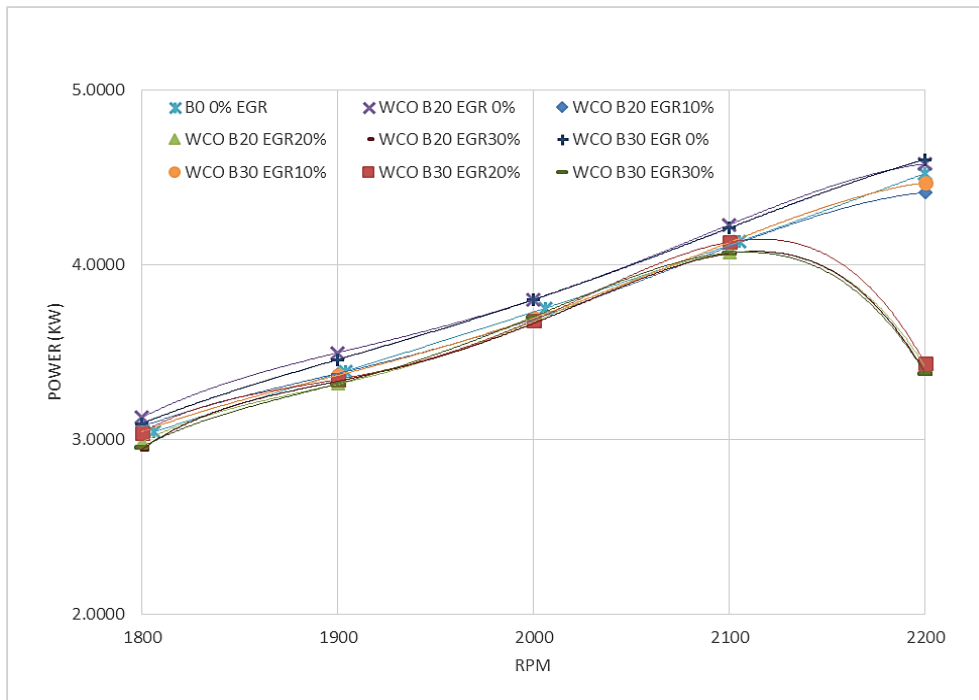
Gambar 4.8. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B30 pada 20% *EGR*

Grafik pada gambar 4.8 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B30 dengan menggunakan 20% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 305,82 gr/kWh. Titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 309,84 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 308,64 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 305,82 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 311,88 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 324,94 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



Gambar 4.9. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B30 pada 30% *EGR*

Grafik pada gambar 4.9 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar B30 dengan menggunakan 30% cold *EGR*, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 317,84 gr/kWh. Titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 331,08 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 330,20 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 317,84 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 301,04 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 384,31 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.

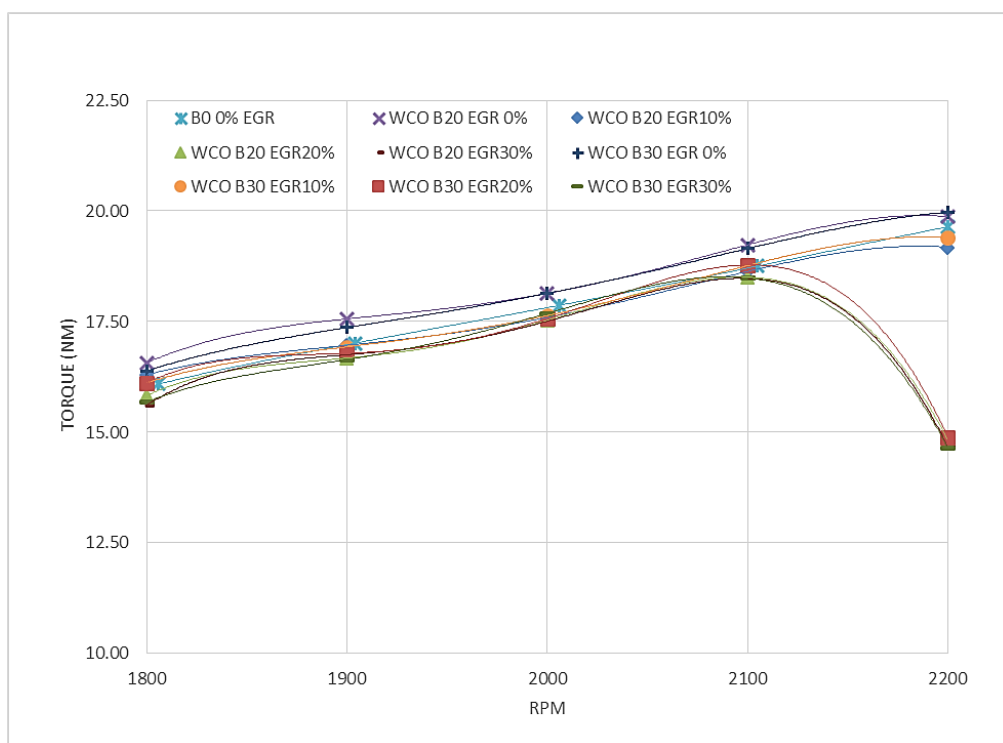


Gambar 4.10. Performansi *Power* vs RPM pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Buka-an Katup *EGR*

Gambar 4.10 adalah grafik performansi perbandingan *power* terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar B0 pada 0% *EGR*, B20 dan B30 pada dengan masing masing prosentase *EGR* sebesar 0%, 10%, 20% dan 30%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% *power* yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap *power* dari masing masing variabel campuran bahan bakar dan prosentase bukaan katup *EGR*. Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada bahan bakar B20 dan B30 dengan 0%*EGR* sedikit berhimpit satu sama lain, menghasilkan daya yang hampir sama disetiap titik putaran. Pada saat putaran awal yaitu 1800RPM menghasilkan daya yang lebih tinggi 3% atau sekitar 0.09 kW dibandingkan dengan Dexlite murni 0%*EGR*. Terjadi juga pada B20 dan B30 Begitu juga dengan *power* yang dihasilkan oleh B30 20%*EGR* dan B30 pada bukaan katup 10%*EGR*, lebih tinggi daripada daya yang dihasilkan oleh B0 0%*EGR*, yaitu di angka 3.04 kW, atau kurang dari 1% diatas daya dari B0 0%*EGR*. Hasil berbeda didapat dari daya yang dihasilkan oleh campuran bahan bakar B20 dan B30 pada bukaan katup 20% dan 30% *EGR*, yaitu lebih rendah sekitar 1% dari daya yang dihasilkan oleh B0 0%*EGR* pada putaran awal. Pada bahan bakar B0 dengan 0%*EGR*, B20 0%*EGR*, B20 10%*EGR*, B30 0%*EGR* dan B30 10%*EGR*, memiliki titik yang sama pada putaran 2200RPM. Kelima jenis variasi ini memiliki hasil daya terbaik pada grafik ini, yaitu masing masing 4,52 kW, 4,57 kW, 4,41 kW, 4,6 kW dan 4,47 kW. Sementara daya dari variasi B20 20%*EGR*, B20 30%*EGR*, B30 20%*EGR* dan B30 30% *EGR* yang pada putaran 2200RPM mengalami penurunan dibanding pada daya maksimal yang dihasilkan pada putaran 2100RPM.

Pada variasi bahan bakar dan bukaan katup B20 20% *EGR*, B20 30% *EGR*, B30 20% *EGR* dan B30 30% *EGR* puncak daya terjadi terjadi pada putaran 2100RPM. Daya tertinggi pada putaran ini dihasilkan oleh B30 20% *EGR* yaitu sebesar 4,12kW lebih tinggi 2% atau 0,1 kW lebih tinggi daripada B20 20% *EGR*, B20 30% *EGR* dan B30 30% yang mempunyai daya di titik yang sama pada 4.06 kW. Setelah 2100RPM, daya dari ke empat variasi tersebut campuran bahan bakar dan prosentase bukaan katup *EGR* tersebut mengalami penurunan.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, penambahan biodiesel minyak jelantah dapat meningkatkan *power* motor diesel, sementara penambahan 10% pada campuran biodiesel hanya memberikan sedikit dampak penurunan *power*, baik pada B20 maupun B30.



Gambar 4.11. Performansi Torsi vs RPM pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Bukaan Katup *EGR*

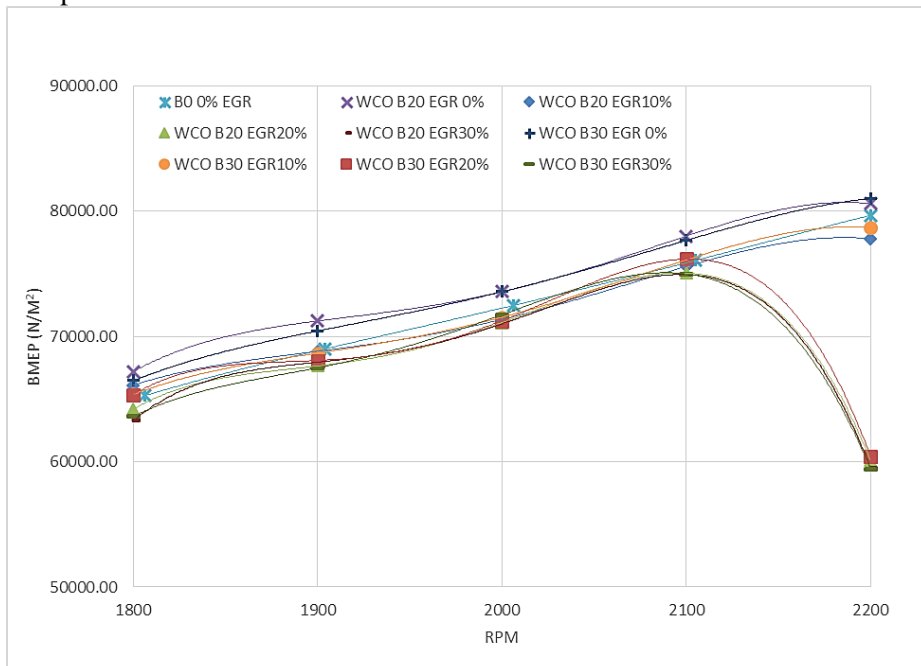
Gambar 4.11 adalah grafik performansi perbandingan Torsi terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar B0 pada 0% *EGR*, B20 dan B30 pada dengan masing masing prosentase *EGR* sebesar 0%, 10%, 20% dan 30%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% torsi yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap torsi dari masing masing variabel campuran bahan bakar dan prosentase bukaan katup *EGR*.

Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada bahan bakar B20 dan B30 dengan 0% *EGR* sedikit berhimpit satu sama lain pada putaran 2000RPM

keatas, karena menghasilkan torsi yang hampir sama disetiap titik putaran. Sementara pada putaran awal 1800RPM dan 1900RPM, B20 memiliki torsi yang lebih tinggi sebesar 0,4 Nm dibandingkan B30. Pada putaran awal ini, B20 dan B30 pada 0%*EGR* juga menghasilkan torsi yang lebih tinggi 0,6 Nm dibandingkan dengan Dexlite murni 0%*EGR*. Sementara torsi yang dihasilkan campuran bahan bakar B20 dan B30 pada bukaan katup 10% *EGR* berhimpit dengan besar torsi yang dihasilkan oleh B0 0%*EGR*, namun pada putaran akhir, biodiesel dengan 10%*EGR* memiliki torsi lebih rendah 0,5 Nm dibanding bahan bakar konvensional B0.

Pada bahan bakar B0 dengan 0%*EGR*, B20 0%*EGR*, B20 10%*EGR*, B30 0%*EGR* dan B30 10%*EGR*, memiliki titik torsi yang sama-sama mencapai putaran 2200RPM dengan tren meningkat. Sementara torsi dari variasi B20 20%*EGR*, B20 30%*EGR*, B30 20%*EGR* dan B30 30% *EGR* yang pada putaran 2200RPM mengalami penurunan dibanding pada torsi maksimal yang dihasilkan pada putaran 2100RPM. Pada variasi bahan bakar dan bukaan katup B20 20%*EGR*, B20 30%*EGR*, B30 20%*EGR* dan B30 30% *EGR* puncak torsi terjadi pada putaran 2100RPM. Torsi yang dihasilkan oleh semua variasi tersebut hampir sama pada torsi 18,7 Nm, kecuali pada B30 30%*EGR* sedikit turun dengan torsi 18,4 Nm.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, penamabahan biodiesel minyak jelantah tanpa *EGR* dapat meningkatkan torsi motor diesel, sementara penambahan 10% pada campuran biodiesel hanya memberikan sedikit dampak penurunan *power*, baik pada B20 maupun B30.



Gambar 4.12. Performansi BMEP vs RPM Pada Variasi Campuran Kandungan Biodiesel dan % Bukaan Katup *EGR*

Gambar 4.12 adalah grafik performansi perbandingan nilai BMEP terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar B0 pada 0% *EGR*, B20 dan B30 pada dengan

masing masing prosentase *EGR* sebesar 0%, 10%, 20% dan 30%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% BMEP yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap torsi dari masing masing variabel campuran bahan bakar dan prosentase bukaan katup *EGR*.

Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada bahan bakar B20 dan B30 dengan 0%*EGR* sedikit berhimpit satu sama lain pada putaran 2000RPM keatas, memiliki nilai BMEP yang hampir sama disetiap titik putaran. Sementara pada putaran awal 1800RPM dan 1900RPM, B20 memiliki BMEP yang lebih tinggi sebesar 800 N/m² dibandingkan B30. Secara keseuruhan, B20 dan B30 pada 0%*EGR* juga memiliki BMEP yang lebih tinggi 2000 N/m² dibandingkan dengan Dexlite murni 0%*EGR*, namun pada putaran tinggi 2200RPM, campuran biodiesel dan bahan bakar murni tanpa *EGR* memiliki nilai BMEP yang mapir sama di titik 80000 N/m². Sementara nilai BMEP dari campuran bahan bakar B20 dan B30 pada bukaan katup 10% *EGR* memiliki nilai BMEP relatif sama dengan B0 0%*EGR*, namun pada putaran akhir, biodiesel dengan 10%*EGR* memiliki BMEP lebih rendah sebesar 1500 N/m² dibanding bahan bakar konvensional B0.

Pada bahan bakar B0 dengan 0%*EGR*, B20 0%*EGR*, B20 10%*EGR*, B30 0%*EGR* dan B30 10%*EGR*, memiliki BMEP yang sama-sama mencapai putaran 2200RPM dengan tren meningkat. Sementara BMEP dari variasi B20 20%*EGR*, B20 30%*EGR*, B30 20%*EGR* dan B30 30% *EGR* yang pada putaran 2200RPM mengalami penurunan dibanding pada titik puncak BMEP yang dihasilkan pada putaran 2100RPM. Pada variasi bahan bakar dan bukaan katup B20 20%*EGR*, B20 30%*EGR*, B30 20%*EGR* dan B30 30% *EGR* puncak BMEP terjadi pada putaran 2100RPM. Nilai BMEP oleh semua variasi tersebut hampir sama pada 75000 N/m²

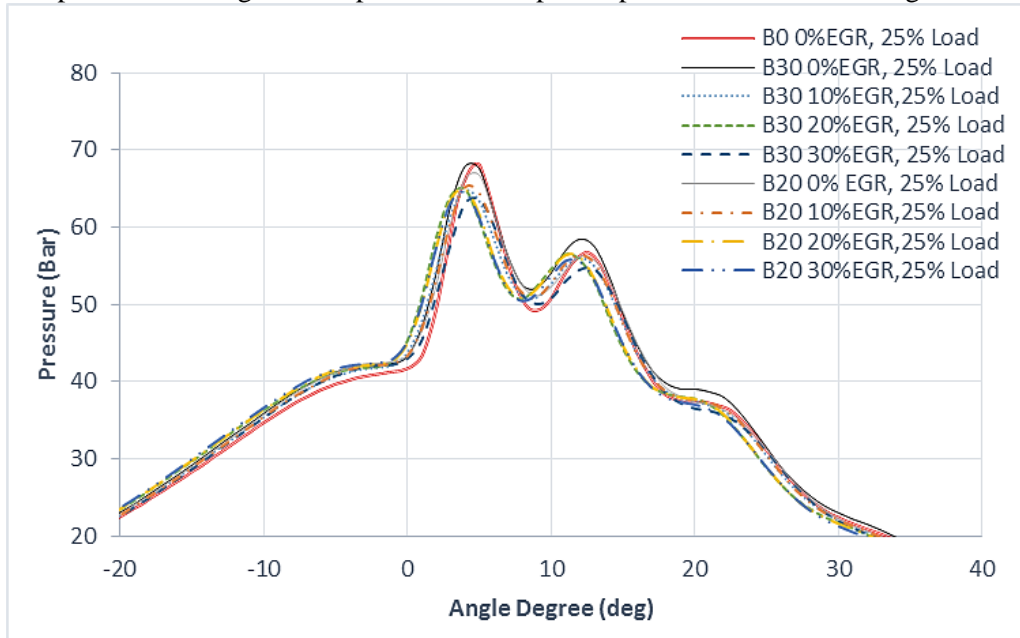
Dari analisis peforma yang dimulai dari analisa grafik *SFOC*, daya, torsi serta BMEP pada semua jenis bahan bakar B0, B20 dan B30 dan bukaan katup *EGR* 10%, 20%, 30%, akan dijadikan patokan untuk proses pengambilan data untuk proses pembakaran dan uji emisi NO_x. Hasil dari biodiesel B20 dan B30 dari analisa grafik diatas dapat dikatakan sangat mirip dengan perbedaan nilai yang kecil, maka pada proses pengujian emisi hanya akan dilakukan pada bahan bakar B30, dengan semua prosentase bukaan katup *EGR*.

4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (WCO) dengan penambahan Exhaust Gas Recirculaion (*EGR*)

Pada proses pengambilan data untuk hasil proses pembakaran ini, Titik pengambilan ditentukan berdasarkan aturan IMO MARPOL Annex VI tentang *test cycle* untuk pengujian emisi NO_x. Test cycle yang diatur oleh MARPOL Annex VI ini menyatakan bahwa pengujian dilakukan pada pembebanan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% pada titik 100% RPM motor diesel. Pengambilan data hasil proses pembakaran bedasar test cyle emisi NO_x adalah untuk menganalisa seberapa besar pengaruh perubahan proses pembakaran terhadap penurunan kandungan NO_x. Penentuan titik pengambilan data ini didapatkan dari proses perhitungan peforma yang di analisa dari bab 4.1. Hasil pembebanan pada 25%, 50%, 75% dan 100% didapat dari pembebanan

motor diesel dengan bahan bakar B0, B20 dan B30 dengan 0% *EGR* atau tanpa penambahan *EGR*. Dari hasil analisa tersebut, dijadikan acuan untuk pembebanan yang diberikan untuk B20 dan B30 pada masing masing 10%, 20% dan 30% *EGR*.

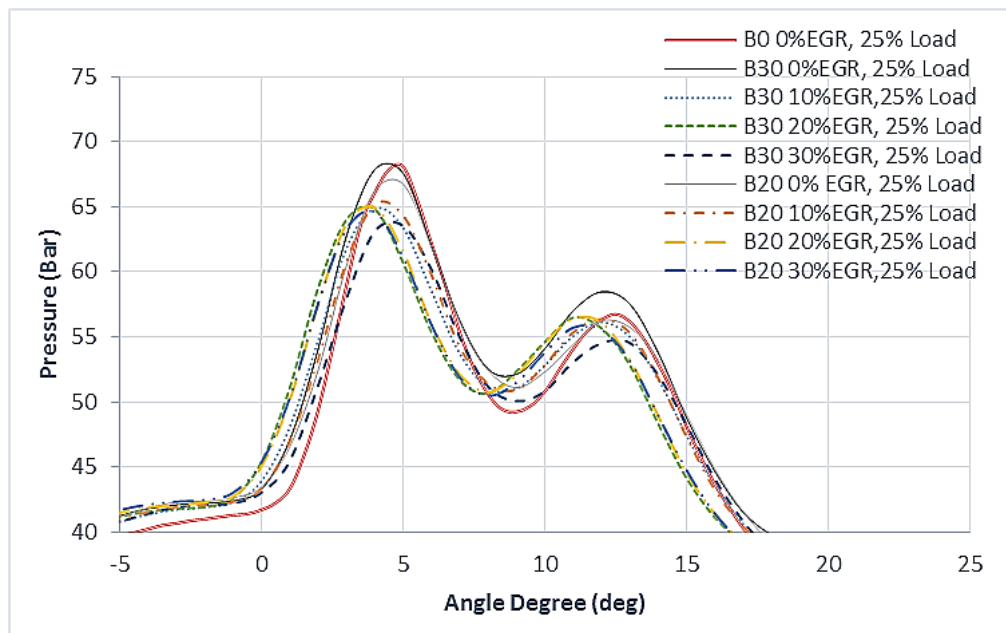
Dari hasil proses pembakaran, nantinya akan dapat dianalisa tentang grafik combustion pressure, rate of heat release dan ignition delay. Hasil proses pembakaran didapat melalui kegiatan eksperimen. Hasil proses pembakaran adalah sebagai berikut



Gambar 4.13. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% load

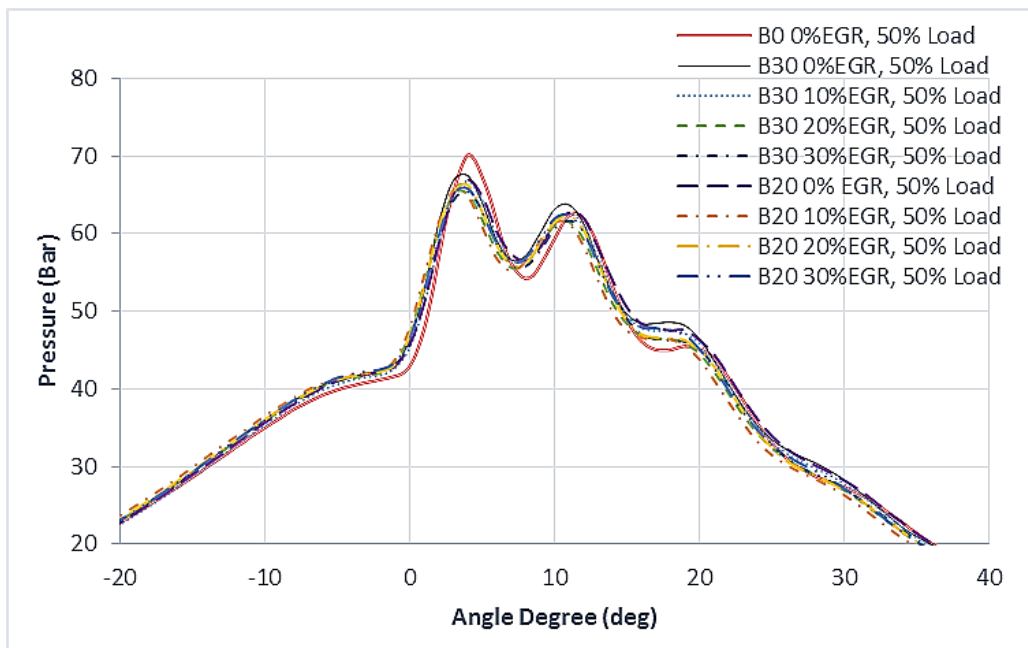
Grafik pada gambar 4.13 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load sebesar 25%. Pada grafik 4.13 dapat diamati, penambahan *EGR* pada variasi bahan bakar B20 dan B30 mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Selain itu penggunaan *EGR* juga mengakibatkan *maximum pressure* terlihat lebih rendah pada saat proses pembakaran dengan penambahan *EGR*. Hal ini terjadi karena gas buang yang bersifat *inert* yang dimasukkan kembali ke ruang bakar melalui sistem *EGR* berdampak pada O₂ yang menjadi sulit bereaksi dengan butir-butir bahan bakar yang diinjeksikan saat proses pembakaran. Gas *inert* tersebut akan memakan sebagian ruang atau menggantikan sebagian O₂ yang seharusnya bisa masuk ke ruang bakar. Pada grafik 4.13 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 dan B30 berhimpit dengan hasil proses pembakaran biodiesel tanpa penambahan *EGR*, dapat dikatakan hal ini menunjukkan bahwa power motor pada penambahan *EGR* 10% pada kedua jenis bahan bakar tidak berpengaruh banyak terhadap power yang dihasilkan. Secara umum sebenarnya dapat dikatakan tidak terlalu jauh berbeda hasil proses pembakaran dengan penambahan *EGR* 10% dan 20%, namun tetap penambahan prosentase *EGR* memberikan dampak turunnya *peak pressure*. Pada beban 25% load, puncak pressure yang dihasilkan oleh campuran bahan bakar B20 dan B30 hampir sama dengan B0 atau dextlite murni. Hal ini menunjukkan, penggunaan bahan

bakar biodiesel *Waste Cooking Oil* menghasilkan performa yang cukup bagus, karena penamabahan *EGR* juga tidak menyebabkan penurunan *pressure* secara drastis.



Gambar 4.14. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% load

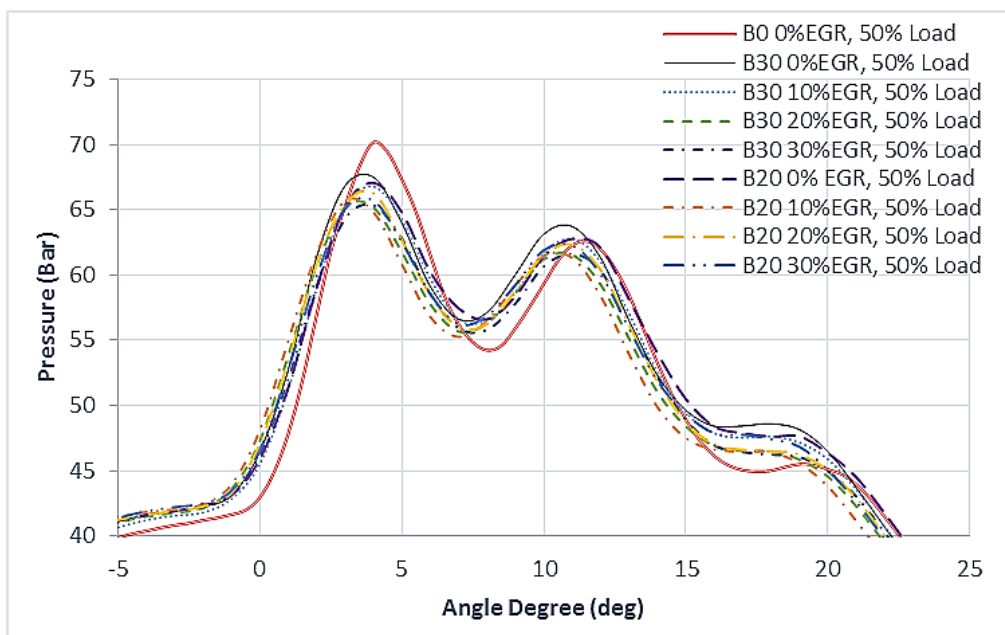
Grafik pada gambar 4.14 merupakan gambar detail pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% load. Pendetailan ini dilakukan agar titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan *EGR* di motor diesel lebih terlihat. Pada 0% *EGR peak pressure* bahan bakar murni Dexlite atau B0 terdapat pada terdapat pada 5°C_A setelah TMA dengan *pressure* sebesar 68,1 Bar, pada B20 terdapat pada 5°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 66,75 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 67,84 Bar. Pada 10% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,14 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 64,79 Bar. Pada 20% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 64,97 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 64,89 Bar. Pada 30% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 4°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 64,61 Bar, sedangkan untuk B30 pada 5°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 63,53 Bar.



Gambar 4.15. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% load

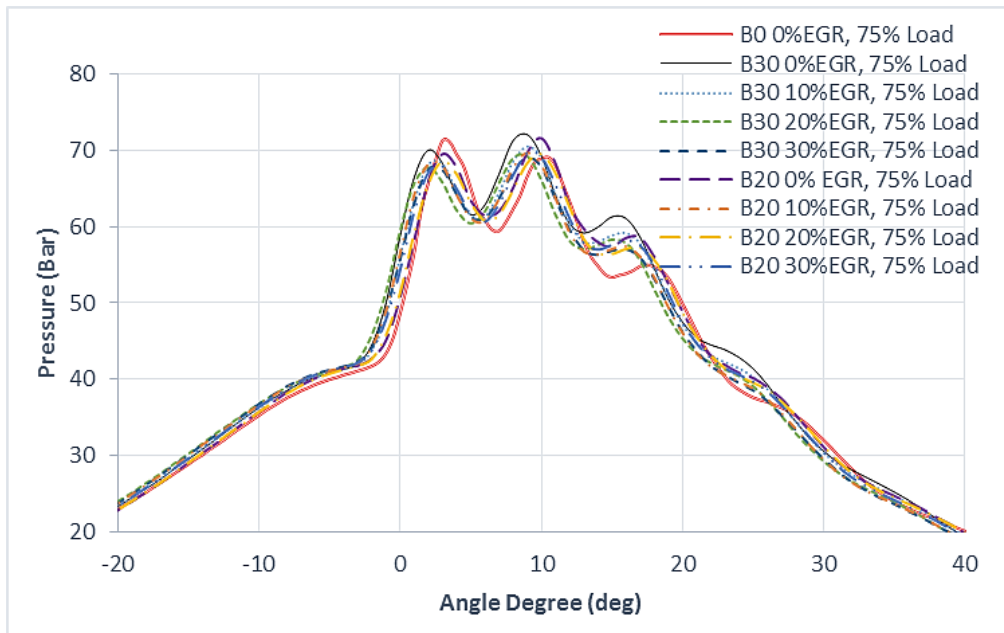
Grafik pada gambar 4.15 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan 50% load. Pada grafik 4.15 dapat diamati, penambahan *EGR* pada variasi bahan bakar B20 dan B30 mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Selain itu penggunaan *EGR* juga mengakibatkan *maximum pressure* terlihat lebih rendah pada saat proses pembakaran dengan penambahan *EGR*. Hal ini terjadi karena gas buang yang bersifat *inert* yang dimasukkan kembali ke ruang bakar melalui sistem *EGR* berdampak pada O_2 yang menjadi sulit bereaksi dengan butir-butir bahan bakar yang diinjeksikan saat proses pembakaran. Gas *inert* tersebut akan memakan sebagian ruang atau menggantikan sebagian O_2 yang seharusnya bisa masuk ke ruang bakar.

Pada grafik 4.15 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 dan B30 berhimpit dengan hasil proses pembakaran biodiesel tanpa penambahan *EGR*, dapat dikatakan hal ini menunjukkan bahwa power motor pada penambahan *EGR* 10% pada kedua jenis bahan bakar tidak berpengaruh banyak terhadap power yang dihasilkan. Secara umum dapat dikatakan tidak terlalu jauh berbeda hasil proses pembakaran dengan penambahan *EGR* 10%, 20% dan 30% namun tetap penambahan prosentase *EGR* memberikan dampak turunnya *peak pressure*, seperti halnya yang terjadi pada saat pembebanan 25% load. Pengamatan terhadap grafik pada hasil *pressure* dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah lebih rendah dari *pressure* yang dihasilkan oleh bahan bakar dexlite pada beban 50% load ini.



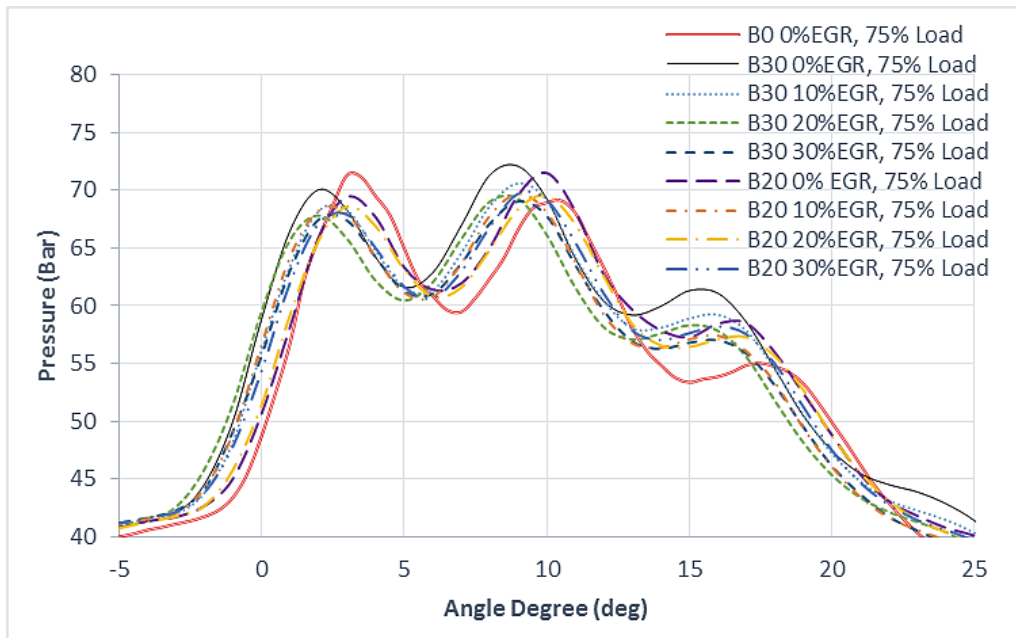
Gambar 4.16. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% load

Grafik pada gambar 4.16 merupakan gambar detail pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% load. Pendetailan ini dilakukan agar titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan *EGR* di motor diesel lebih terlihat. Pada 0% *EGR peak pressure* bahan bakar murni Dexlite atau B0 terdapat pada terdapat pada 4°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 70,16 Bar, pada B20 terdapat pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 67,03 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 67,5 Bar. Pada 10% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 3°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,63 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 66,74 Bar. Pada 20% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 66,27 Bar, sedangkan untuk B30 pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,16 Bar. Pada 30% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 4°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,7 Bar, sedangkan untuk B30 pada 5°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 65,37 Bar.



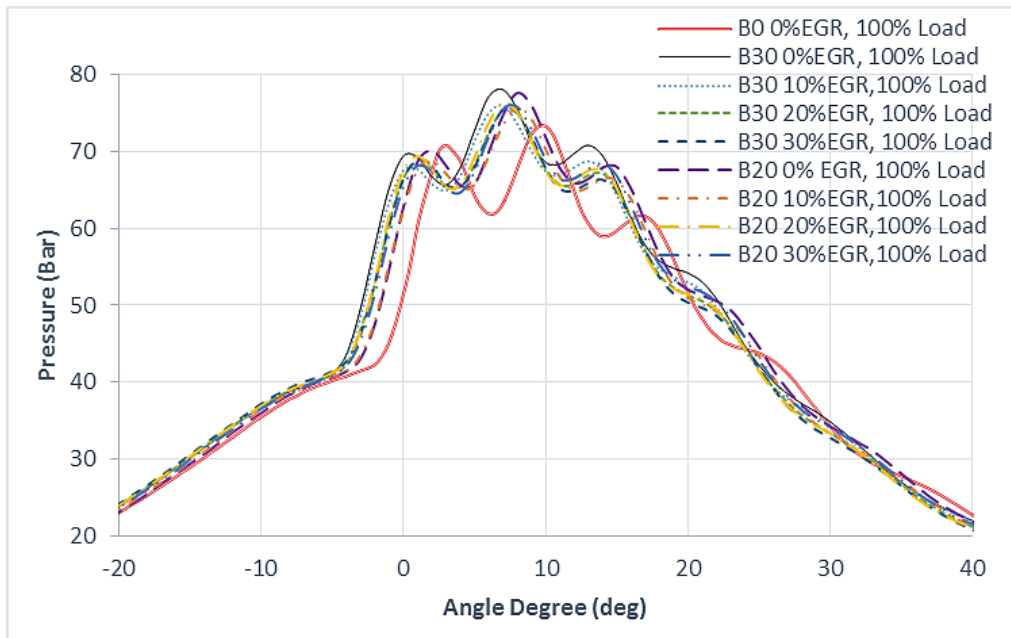
Gambar 4.17. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load

Grafik pada gambar 4.17 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load sebesar 75%. Pada grafik 4.17 dapat diamati, penambahan *EGR* pada variasi bahan bakar B20 dan B30 mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Selain itu penggunaan *EGR* juga mengakibatkan *maximum pressure* terlihat lebih rendah pada saat proses pembakaran dengan penambahan *EGR*. Hal ini terjadi karena gas buang yang bersifat *inert* yang dimasukkan kembali ke ruang bakar melalui sistem *EGR* berdampak pada O_2 yang menjadi sulit bereaksi dengan butir-butir bahan bakar yang diinjeksikan saat proses pembakaran. Gas *inert* tersebut akan memakan sebagian ruang atau menggantikan sebagian O_2 yang seharusnya bisa masuk ke ruang bakar. Pada grafik 4.17 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 dan B30 berhimpit dengan hasil proses pembakaran biodiesel tanpa penambahan *EGR*, dapat dikatakan hal ini menunjukkan bahwa power motor pada penambahan *EGR* 10% pada kedua jenis bahan bakar tidak berpengaruh banyak terhadap power yang dihasilkan. Secara umum sebenarnya dapat dikatakan tidak terlalu jauh berbeda hasil proses pembakaran dengan penambahan *EGR* 10% dan 20%, namun tetap penambahan prosentase *EGR* memberikan dampak turunya *peak pressure*. pada kondisi ini, *peak pressure* yang dihasilkan oleh biodiesel baik B20 atau B30 lebih tinggi daripada *peak pressure* dari B0 atau dextlite murni. Hal ini menunjukkan, penggunaan bahan bakar biodiesel *Waste Cooking Oil* memiliki performa yang cukup bagus, karena perubahan turunya *peak pressure* tidak terlalu signifikan.



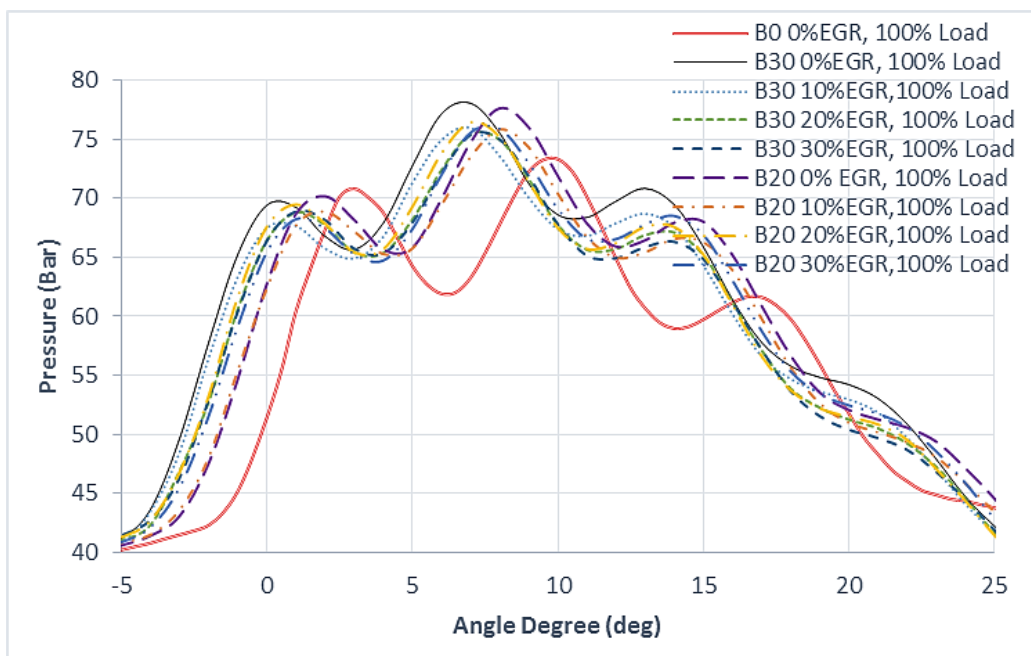
Gambar 4.18. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load

Grafik pada gambar 4.18 merupakan gambar detail pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load. Pendetailan ini dilakukan agar titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan *EGR* di motor diesel lebih terlihat. Pada 0% *EGR peak pressure* bahan bakar murni Dexlite atau B0 terdapat pada terdapat pada 3°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 71,3 Bar, pada B20 terdapat pada 10°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 71,57 Bar, sedangkan untuk B30 pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 72,1 Bar. Pada 10% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,63 Bar, sedangkan untuk B30 pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 70,6 Bar. Pada 20% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 10°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,48 Bar, sedangkan untuk B30 pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,25 Bar. Pada 30% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,67 Bar, sedangkan untuk B30 pada 9°CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,06 Bar.



Gambar 4.19. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load

Grafik pada gambar 4.19 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan *load* sebesar 100%. Pada grafik 4.19 dapat diamati, penambahan *EGR* pada variasi bahan bakar B20 dan B30 mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Selain itu penggunaan *EGR* juga mengakibatkan *maximum pressure* terlihat lebih rendah pada saat proses pembakaran dengan penambahan *EGR*. Hal ini terjadi karena gas buang yang bersifat *inert* yang dimasukkan kembali ke ruang bakar melalui sistem *EGR* berdampak pada O_2 yang menjadi sulit bereaksi dengan butir-butir bahan bakar yang diinjeksikan saat proses pembakaran. Gas *inert* tersebut akan memakan sebagian ruang atau menggantikan sebagian O_2 yang seharusnya bisa masuk ke ruang bakar. Pada grafik 4.19 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 dan B30 berhimpit dengan hasil proses pembakaran biodiesel tanpa penambahan *EGR*, dapat dikatakan hal ini menunjukkan bahwa power motor pada penambahan *EGR* 10% pada kedua jenis bahan bakar tidak berpengaruh banyak terhadap power yang dihasilkan. Secara umum sebenarnya dapat dikatakan tidak terlalu jauh berbeda hasil proses pembakaran dengan penambahan *EGR* 10% dan 20%, namun tetap penambahan prosentase *EGR* memberikan dampak turunnya *peak pressure*. Pemakaian biodiesel menghasilkan *peak pressure* yang lebih tinggi dari bahan bakar biasa atau B0. Hal ini menunjukkan, penggunaan bahan bakar biodiesel Waste Cooking Oil memiliki performa yang lebih baik daripada dextlite atau B0 pada 100% load

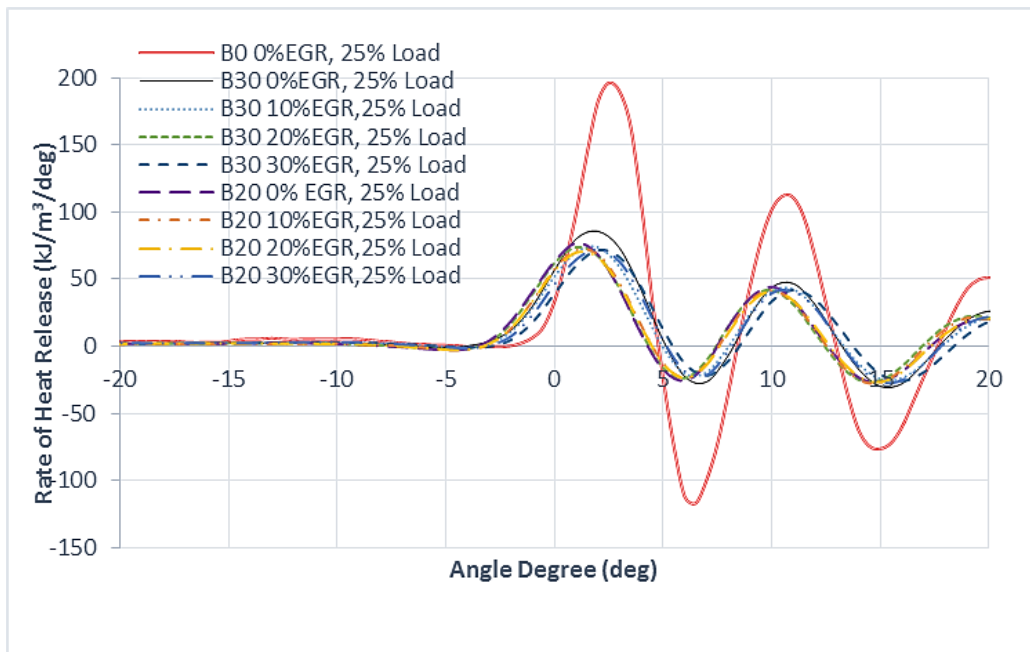


Gambar 4.20. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load

Grafik pada gambar 4.20 merupakan gambar detail pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load. Pendetailan ini dilakukan agar titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan *EGR* di motor diesel lebih terlihat. Pada 0% *EGR peak pressure* bahan bakar murni Dexlite atau B0 terdapat pada terdapat pada 10 CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 73,3 Bar, pada B20 terdapat pada 8°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 77,6 Bar, sedangkan untuk B30 pada 7°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 78,08 Bar. Pada 10% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 8°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,78 Bar, sedangkan untuk B30 pada 7°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,98 Bar. Pada 20% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 7°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 76,43 Bar, sedangkan untuk B30 pada 7°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,48 Bar. Pada 30% *EGR peak pressure* bahan bakar B20 terdapat pada 8°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,87 Bar, sedangkan untuk B30 pada 7°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,4 Bar.

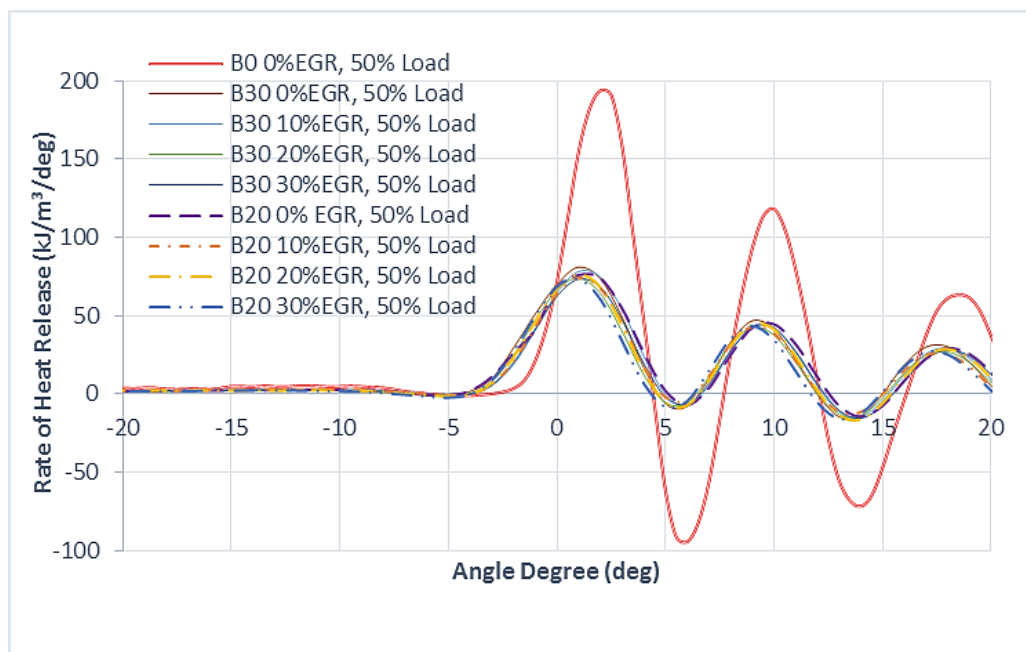
Bisa ditarik kesimpulan berdasarkan grafik *combustion pressure* diatas, maka penambahan beban dapat mengakibatkan peak power bergerak kearah kiri. Penggunaan biodiesel pada beban rendah memiliki *pressure* yang lebih rendah dari bahan bakar konvensional, namun pada beban penuh atau 100% load peak *pressure* biodiesel lebih tinggi daripada bahan bakar konvensional. Penggunaan *EGR* juga mempengaruhi *peak power* motor diesel dan perubahan grafik *pressure* selama *premix combustion period*, *control combustion combustion* dan *after burning period*.

Untuk mengetahui hasil proses pembakaran, selanjutnya juga dianalisis *rate of heat release (ROHR)*. *ROHR* merupakan rata-rata pelepasan panas dari bahan bakar dan udara selama proses pembakaran. Dalam *rate of heat release (ROHR)*, dapat diketahui dianalisa dampak penggunaan biodiesel dengan tambahan *EGR* terhadap *ROHR*, serta *ignition delay* dari motor diesel.



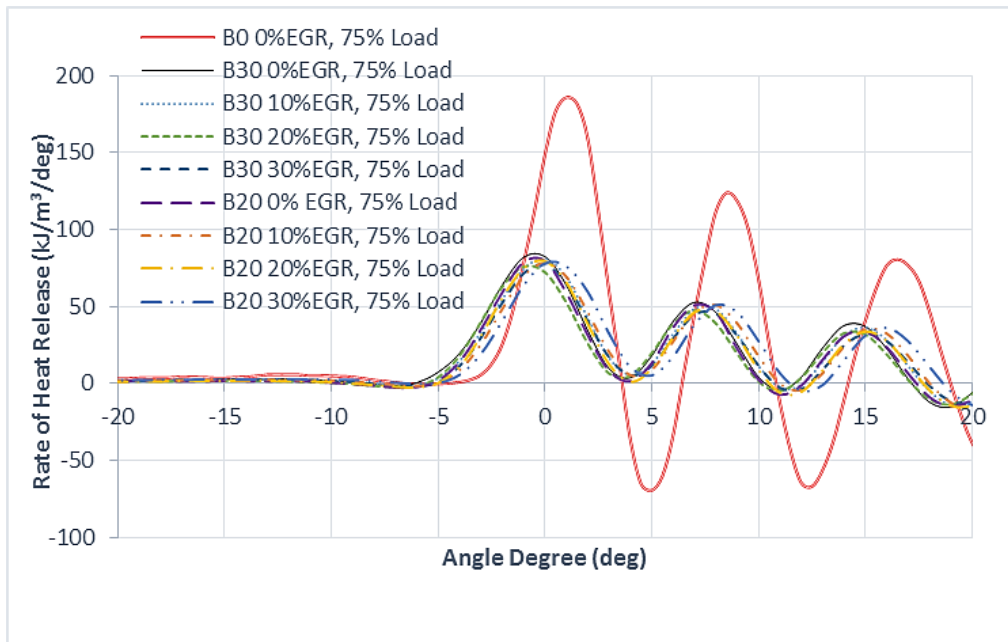
Gambar 4.21. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 25% load

Gambar 4.21 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan pembebanan 25% load. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat sistem *EGR* diaplikasikan ke motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah. Pada analisis peak of *Rate of heat release*, penambahan prosentase bukaan katup *EGR* menyebabkan puncak *rate of heat release* sedikit turun. Untuk ignition delay, lama ignition delay dapat dilihat dari jarak waktu antara proses injection timing atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan *EGR* menyebabkan awal heat release bergerak ke arah kanan, yang berarti ignition delay semakin panjang. Pada 0% *EGR* atau kondisi motor tanpa sistem *EGR*, dengan bahan bakar murni B0 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,9 °CA sebelum TMA, sedangkan B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,3 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 3,4° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,5 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 20% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 3,4° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,3 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 30% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 3,2° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,1 °CA sebelum TMA.



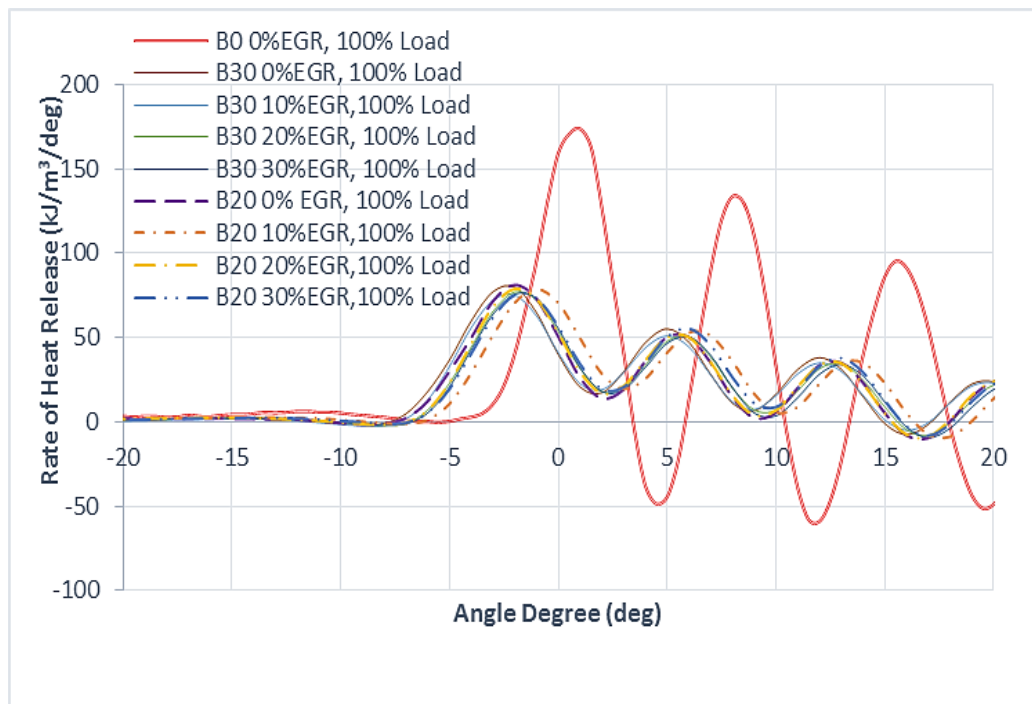
Gambar 4.22. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 50% load

Gambar 4.20 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan pembebanan 50% load. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat sistem *EGR* diaplikasikan ke motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah. Pada analisis peak of *Rate of heat release*, penambahan prosentase bukaan katup *EGR* menyebabkan puncak *rate of heat release* sedikit turun. Untuk ignition delay, lama ignition delay dapat dilihat dari jarak waktu antara proses injection timing atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan *EGR* menyebabkan awal heat release bergerak ke arah kanan, yang berarti ignition delay semakin panjang. Pada 0% *EGR* atau kondisi motor tanpa sistem *EGR*, dengan bahan bakar murni B0 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,7 °CA sebelum TMA, sedangkan B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi juga pada 4,7 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 4,2 ° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,1 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 20% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 3,7° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,6 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 30% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 3,7° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3,9 °CA sebelum TMA.



Gambar 4.23. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load

Gambar 4.21 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan pembebanan 75% load. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau *ignition delay* saat sistem *EGR* diaplikasikan ke motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah. Pada analisis *peak of Rate of heat release*, penambahan prosentase bukaan katup *EGR* menyebabkan puncak *rate of heat release* sedikit turun. Untuk *ignition delay*, lama *ignition delay* dapat dilihat dari jarak waktu antara proses *injection timing* atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan *EGR* menyebabkan awal heat release bergerak ke arah kanan, yang berarti *ignition delay* semakin panjang. Pada 0% *EGR* atau kondisi motor tanpa sistem *EGR*, dengan bahan bakar murni B0 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4,5 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5,5 °CA sebelum TMA, sedangkan B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 6,2 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 5,3° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5,8 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 20% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 5,3° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5,6 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 30% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 5,3° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5,3 °CA sebelum TMA.



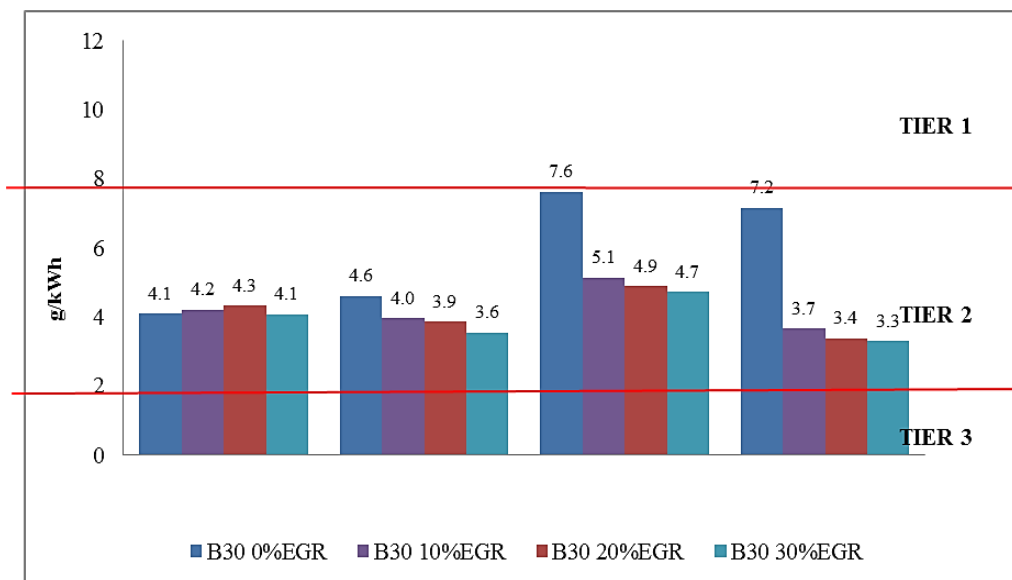
Gambar 4.24. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 100% load

Gambar 4.22 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan pembebanan 100% load. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat sistem *EGR* diaplikasikan ke motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah. Pada analisis peak of Rate of heat release, penambahan prosentase bukaan katup *EGR* menyebabkan puncak *rate of heat release* sedikit turun. Untuk ignition delay, lama ignition delay dapat dilihat dari jarak waktu antara proses injection timing atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan *EGR* menyebabkan awal heat release bergerak ke arah kanan, yang berarti ignition delay semakin panjang. Pada 0% *EGR* atau kondisi motor tanpa sistem *EGR*, dengan bahan bakar murni B0 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5,25 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 7,6 °CA sebelum TMA, sedangkan B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 7,8 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 10% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 6,5° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 7,3 °CA sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 20% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 6,7° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 6,8 °CA

sebelum TMA. Pada penambahan prosentase *EGR* sebesar 30% pada bahan bakar B20 awal heat release terjadi pada 6,6° sebelum TMA dan pada B30 titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 6,7 °CA sebelum TMA.

4.3 Kandungan NO_x Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (WCO) dengan penambahan *Exhaust Gas Recirculation*

Secara umum, penyebab utama munculnya emisi yang beracun adalah karena hasil proses pembakaran motor diesel yang tidak sempurna. Salah satu diantara emisi tersebut adalah NO_x. Emispi NO_x terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. NO_x dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. Pada MARPOL Annex VI. Yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organisation* (IMO) membahas tentang standar atau ambang batas emisi NO_x yang diperbolehkan dari emisi gas buang motor diesel.



Gambar 4.25 Diagram batang kadar NO_x pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi.

Gambar 4.25 adalah Diagram batang kadar NO_x pada kondisi 100%RPM dan beban pada motor diesel dengan bahan bakar minyak jelantah dengan penambahan teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). Pada penelitian sebelumnya, emisi NO_x pada motor diesel dengan bahan bakar biodiesel dengan minyak jelantah relative tinggi. Lebih tinggi dari bahan bakar konvensional pada RPM tinggi namun lebih rendah pada saat RPM rendah. Penambahan *EGR* dimaksudkan untuk mereduksi kadar emisi NO_x yang dihasilkan oleh bahan bakar minyak jelantah tersebut. *EGR* dapat mensirkulasikan kembali gas buang kedalam ruang bakar, sehingga temperatur saat proses pembakaran menjadi berkurang. Pada penelitian ini perlu dilakukan pengujian terhadap kadar NO_x setelah motor diesel dimodifikasi dengan menambahkan sistem *EGR*

Dari hasil pengamatan grafik, kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 0% *EGR* atau kondisi motor diesel standar tanpa sistem *EGR* mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 4,1 g/kWh, 4,2 g/kWh, 7,6 g/kWh dan 7,1 g/kWh. Pada kondisi semua beban, emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2, namun tidak ada yang masuk dalam kualifikasi TIER 3, aturan terbaru yang dikeluarkan IMO untuk mesin terbaru. Pada BAB II dijelaskan bahwa kualifikasi TIER 1 adalah emisi NO_x antara 7,7 sampai 9,8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM. Kualifikasi TIER 2 adalah emisi NO_x motor diesel antara 1,96 sampai 7,7 g/kWh pada putaran 2000RPM. Kualifikasi TIER 3 adalah emisi NO_x motor diesel yang kurang dari 1,96 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM.

Pada 10% *EGR*, kadar emisi NO_x yang dihasilkan mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 4,2 g/kWh, 4,0 g/kWh, 5,1 g/kWh dan 3,6 g/kWh. Pada kondisi beban 25% terjadi kenaikan emisi sebesar 0,1 gr/kWh dari keadaan tanpa *EGR* kondisi beban 50%, emisi NO_x turun 0,6 gr/kWh disbanding keadaan tanpa *EGR*. Dampak penurunan emisi NO_x paling besar terjadi pada beban 75% dan 100%, yaitu masing masing turun sebesar 2,5 gr/kWh dan 3,5 gr/kWh dibandingkan kondisi tanpa penambahan *EGR*. Hasil dari penambahan *EGR* 10%, emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Pada 20% *EGR*, kadar emisi NO_x yang dihasilkan mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 4,3 g/kWh, 3,9 g/kWh, 4,9 g/kWh dan 3,4 g/kWh. Pada kondisi beban 50%, 75% dan 100% terjadi penurunan emisi masing-masing sebesar 0,1 gr/kWh, 0,2 gr/kWh dan 0,3 gr/kWh dari keadaan 10% *EGR*. Hasil dari penambahan *EGR* 20%, emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 2. Sedangkan pada penambahan 30% *EGR*, kadar emisi NO_x yang dihasilkan mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 4,0 g/kWh, 3,5 g/kWh, 4,7 g/kWh dan 3,2 g/kWh. Pada kondisi semua beban, 25%, 50%, 75% dan 100% terjadi penurunan emisi masing-masing sebesar 0,2 gr/kWh, 0,3 gr/kWh, 0,2 gr/kWh dan 0,1 gr/kWh dari keadaan 20% *EGR*. Hasil penambahan 30% *EGR* memiliki hasil emisi NO_x yang lebih rendah daripada 10% *EGR* dan 20% *EGR* serta jauh lebih rendah daripada keadaan tanpa *EGR*. Namun hasil dari penambahan 30% *EGR* belum mampu memenuhi syarat TIER 3 yaitu di kadar NO_x maksimal 1,9 gr/kWh pada motor dengan putaran diatas 2000RPM.

Dari grafik 4.23 dapat diketahui, penambahan *EGR* sebesar 10% pada motor diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak jelantah emisi NO_x sebesar 48,8%. Sedangkan penggunaan *EGR* sebesar 20% mampu mereduksi emisi NO_x sebesar 52,68%. Sementara penggunaan *EGR* sebesar 30% mampu mereduksi emisi NO_x sebesar 54%. Semua penurunan emisi dengan penambahan *EGR* tersebut dibandingkan dengan emisi NO_x motor diesel dengan bahan bakar minyak jelantah tanpa penambahan *EGR* atau 0% *EGR*. Dapat disimpulkan, penambahan *EGR* 10% menurunkan kadar NO_x secara drastis, namun pada penambahan prosentase berikutnya, penurunan NO_x tidak terlalu signifikan. Hasil dari semua emisi NO_x dari motor diesel dengan bahan bakar bio diesel minyak jelantah baik dengan penambahan system *EGR* dengan prosentase 10%, 20% dan 30 % serta tanpa penambahan *EGR* belum mampu memenuhi klasifikasi TIER 3 dari aturan IMO dalam MARPOL Annex VI yang mengatur tentang polusi udara.

4.4. Pembahasan

Pada bab ini dibahas secara keseluruhan dari hasil performa, proses pembakaran dan NO_x dari motor diesel berbahan bakar minyak jelantah dengan penambahan teknologi *EGR*, seperti yang telah dipaparkan yang telah dijelaskan pada sub bab 4.1, 4.2 dan 4.3. Pembahasan ini dimaksudkan untuk menganalisa grafik yang diperoleh selama eksperimen pada motor diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah dengan penambahan *EGR* pada variasi campuran bahan bakar dan prosentase bukaan katup *EGR*. Analisa berdasarkan hasil eksperimen dapat dibandingkan dengan dasar teori dan hasil-hasil yang sudah ada pada referensi penelitian sebelumnya.

Pada grafik 4.1 sampai 4.9 merupakan grafik SFOC yang diperoleh dari eksperimen. Grafik menampilkan perbandingan SFOC terhadap daya. Dilanjutkan pada grafik 4.10 yaitu perbandingan daya 100% yang dihasilkan setiap variasi campuran bahan bakar dan bukaan katup *EGR* pada setiap RPM. Hasil grafik tersebut menunjukkan penggunaan bahan bakar biodiesel B20 dan B30 memiliki daya yang sedikit lebih baik daripada bahan bakar konvensional atau B0. Sedangkan penggunaan 10% *EGR* pada bahan bakar biodiesel B20 dan B30 memberikan sedikit penurunan daya daripada B20 dan B30 tanpa penambahan *EGR*. Jika dibandingkan dengan bahan bakar dextrite murni atau B0, penambahan *EGR* sebesar 10%, daya yang dihasilkan oleh biodiesel dengan penambahan *EGR* 10 % tidak berpengaruh banyak terhadap penurunan daya. Hal yang sama juga terjadi pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12. Pada grafik tersebut, torsi serta nilai BMEP yang dihasilkan oleh biodiesel lebih baik daripada bahan bakar dextrite tanpa penambahan *EGR*. Dampak terlihat terhadap hasil daya, torsi serta BMEP ketika penambahan *EGR* sebesar 20 dan 30% pada biodiesel minyak jelantah, baik pada B20 dan B30. Dapat disimpulkan secara umum bahwa penggunaan biodiesel menghasilkan performa yang lebih baik daripada bahan bakar dextrite dan penambahan 10% *EGR* tidak menunjukkan perubahan trend grafik secara signifikan, bahkan pada RPM awal terlihat penggunaan 10% *EGR* mengakibatkan nilai power, torsi dan BMEP menjadi meningkat dibandingkan dengan B0 0% *EGR*. Analisa yang muncul dari hasil ini adalah dikarenakan dengan penambahan 10% *EGR* dapat merubah nilai AFR menuju campuran sempurna sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik. Sedangkan pada 20% *EGR* menunjukkan bahwa terjadi drop power, torsi dan BMEP setelah 2100RPM. Hal ini sejalan dengan hasil analisa dari penelitian-penelitian sebelumnya dimana penggunaan *EGR* dapat mengakibatkan penurunan nilai power, torsi dan BMEP.

Analisa juga dilakukan terhadap hasil proses pembakaran, meliputi *combustion pressure*, *rate of heat release* dan *ignition delay*. Grafik proses pembakaran ditunjukkan pada gambar 4.13 sampai 4.24. Dari hasil analisa grafik yang didapatkan dalam proses eksperimen, penambahan prosentase *EGR* (%*EGR*) mengakibatkan peak pressure pada saat pembakaran menjadi lebih rendah dibandingkan dengan motor diesel yang tidak menggunakan *EGR* atau 0% *EGR*. Hal ini sejalan dengan referensi dan beberapa teori dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menerangkan bahwa penambahan *EGR* dapat mengakibatkan *combustion pressure* menjadi lebih rendah. System *EGR* memberikan kesempatan gas buang yang disirkulasikan kembali oleh ke dalam ruang bakar. Dimana gas tersebut bersifat inert, yang mampu menangkap oksigen (O₂). Oksigen yang menjadi komponen utama pada proses pembakaran, membuat pembakaran menjadi terganggu, karena oksigen terperangkap oleh gas *inert*. Terganggunya proses pembakaran ini yang mengakibatkan *combustion pressure* menjadi turun.

Gas *inert* yang masuk kembali ke ruang bakar juga mengakibatkan perubahan dalam pelepasan panas sering kita kenal dengan istilah *heat release*. Gas *inert* yang berada selama proses pembakaran dapat mengakibatkan *heat release* menjadi menurun. Pada grafik hasil eksperimen menunjukkan bahwa grafik *heat release* pada saat penambahan prosentase *EGR* mengakibatkan awal pelepasan panas terjadi lebih lambat dibandingkan dengan motor diesel tanpa menggunakan *EGR*. Hal ini biasa juga disebut mundurnya *igniton timing* yang berdampak pada *ignition delay* yang semakin panjang. Selain itu rata-rata pelepasan panas (ROHR) menjadi menurun, hal ini terlihat ketika grafik telah mencapai peak *heat release*. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian-penelitian terdahulu yang menjelaskan bahwa penambahan prosentase *EGR* dapat mengakibatkan penurunan *heat release* seakan-akan menjadi menurun.

Hal hal yang terjadi diatas mengindikasikan jika sistem *EGR* telah bekerja, yaitu dengan memamsukan kembali gas buang ke ruang bakar. Menurunnya peak pressure, *ignition delay* yang semakin panjang serta rate of *heat release* yang lebih rendah menyebabkan emisi yang dihasilkan berupa NOx lebih kecil dibandingkan keadaan asli. Hal yang didapatkan dari analisa grafik 4.25 kadar NOx dari hasil pengujian menunjukkan, penurunan kadar NOx yang tidak terlalu signifikan. Hal ini sebenarnya sudah bisa terprediksi jika kita melihat dari grafik sebelumnya tentang combustion pressure dan rate of *heat release*. Pada grafik grafik tersebut juga menunjukkan penurunan yang tidak jauh berbeda pada setiap penambahan prosentase bukaan katup *EGR*. Perubahan lebih terlihat ketika membandingkan antara penggunaan 10% *EGR* dengan tanpa ditambahkan system *EGR*. Hal ini juga terjadi pada penelitian penelitian sebelumnya. Emisi yang dihasilkan pada gas buang motor diesel dengan bahan bakar biodiesel terlihat stabil meskipun rpm dan beban yang diberikan bertambah. Emisi dari motor diesel bahan bakar biodiesel cenderung lebih tinggi pada beban dan putaran tinggi dibandingkan dengan bahan bakar konvensional.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu penggunaan biodiesel minyak jelantah dengan penambahan teknologi *EGR* pada motor diesel Dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut:

- a. Peforma yang dihasilkan oleh biodiesel pada campuran bahan bakar B20 dan B30 memiliki hasil yang hampir sama dilihat dari SFOC, Daya, Torsi dan juga pada nilai BMEP pada setiap bukaan katup *EGR*. Secara detail, biodiesel B30 memiliki hasil yang sedikit lebih baik dari B20. Jika dibandingkan dengan bahan bakar konvensional Dexlite, penggunaan biodiesel pada keadaan tanpa *EGR* dan dengan penambahan *EGR* 10% memiliki peforma yang lebih berdasarkan nilai daya, torsi dan BMEP. Efek penambahan *EGR* 20% dan 30% menyebabkan nilai Daya, Torsi dan BMEP drop pada putaran engine 2200RPM.
- b. Pada analisa proses pembakaran, penggunaan *EGR* dapat mengakibatkan *peak combustion pressure* menjadi lebih rendah. Penggunaan *EGR* juga menyebabkan ignition timing menjadi lebih lambat. Hal ini dikarenakan pengaruh gas buang yang disirkulasikan kembali melalui sistem *EGR* bersifat *innert gas* sehingga proses pembakaran berlangsung kurang sempurna serta membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama untuk mencapai pembakaran yang optimal.
- c. Pada hasil pengujian emisi *NOx*, penggunaan *EGR* 10% menurunkan emisi *NOx* secara drastis dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh biodiesel minyak jelantah tanpa penambahan *EGR*. Emisi *NOx* dapat turun sebesar 49%. Sementara penambahan *EGR* 20% dan 30% tidak berdampak besar penurunannya dibandingkan *EGR* 10%. Secara umum penambahan *EGR* hingga 30% dapat mereduksi kadar *NOx* pada emisi hingga 54% dari keadaan tanpa penambahan *EGR*, tetapi hasil tersebut belum masuk pada kualifikasi TIER 3, hanya memenuhi kualifikasi untuk TIER 2

5.2 Saran

Dengan dilakukannya penelitian mengenai penggunaan biodiesel minyak jelantah dengan penambahan *EGR*, penulis memiliki saran agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi. Saran tersebut diantaranya :

- a. Peneliti selanjutnya dapat meneliti bahan bakar biodiesel minyak jelantah dengan tambahan zat aditif lain atau emulsi agar dapat mendapatkan emisi yang lebih rendah.
- b. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem *EGR* dengan reduksi emisi yang lebih efektif dalam menurunkan emisi yang dihasilkan oleh emisi dari bahan bakar biodiesel seperti *amonia scrubber*, *air humidifier*, *PDF*, dll agar didapatkan kadar emisi yang lebih baik lagi.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Nur Fauziah, J. (2015). *Analysis of particulate matter emission in diesel engine operated with waste cooking oil biodiesel* (Doctoral dissertation, Universiti Malaysia Pahang).
- Pai, P. S., & Rao, B. S. (2011). Artificial neural network based prediction of performance and emission characteristics of a variable compression ratio CI engine using WCO as a biodiesel at different injection timings. *Applied Energy*, 88(7), 2344-2354.
- Kumar, M. S., & Jaikumar, M. (2014). A comprehensive study on performance, emission and combustion behavior of a compression ignition engine fuelled with WCO (waste cooking oil) emulsion as fuel. *Journal of the Energy Institute*, 87(3), 263-271.
- Arslan, R. (2011). Emission characteristics of a diesel engine using waste cooking oil as biodiesel fuel. *African Journal of Biotechnology*, 10(19), 3790-3794.
- Yasin, Achmad Maulana. (2017). Studi Analisis Performa, Proses Pembakaran Dan NOx Motor Diesel Dengan Sistem EGR Menggunakan Angle Globe EGR Valve Berbasis Eksperimen. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- Wakhid, Muhammad Arif. (2013). Analisis Perbandingan Peforma dan EmisiNOx Motor diesel Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel minyak Jelantah (Waste cooking oil) dengan Bio Solar. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- Nariati, Susi. (2016). Influence Analysis Of The Iodine Number On Motor Performance with B20 and B30 Biodiesel Fuel from Waste cooking oil. Institut Teknologi Sepuluh Nomerber. Surabaya.
- Lapuerta, M., Herreros, J. M., Lyons, L. L., García-Contreras, R., & Briceño, Y. (2008). Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. *Fuel*, 87(15), 3161-3169.
- Gomez, M. G., Howard-Hildige, R., Leahy, J. J., O'reilly, T., Supple, B., & Malone, M. (2000). Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel. In *Urban Air Quality: Measurement, Modelling and Management* (pp. 13-20). Springer Netherlands.
- Muralidharan, K., & Vasudevan, D. (2011). Performance, emission and combustion characteristics of a variable compression ratio engine using methyl esters of waste cooking oil and diesel blends. *Applied energy*, 88(11), 3959-3968.

- Abd-Alla, G. H. (2002). Using *Exhaust Gas Recirculation* in internal combustion engines: a review. *Energy Conversion and Management*, 43(8), 1027-1042.
- Hountalas, D. T., Mavropoulos, G. C., & Binder, K. B. (2008). Effect of *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* temperature for various *EGR* rates on heavy duty DI diesel engine performance and emissions. *Energy*, 33(2), 272-283.
- Jacobs, T., Assanis, D. N., & Filipi, Z. (2003). The impact of *Exhaust Gas Recirculation* on performance and emissions of a heavy-duty diesel engine (No. 2003-01-1068). SAE Technical Paper.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Rumus Peforma

Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{eff \text{ gen} \times eff \text{ slip}}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos ϕ	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
ρ	: massa jenis bahan bakar (gr/m ³)
v	: volume bahan bakar (m ³)
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC	: konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
P	: daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)

P : daya (kW)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m³)

I : jumlah silinder

Lampiran 2 : Hasil Perhitungan Peforma

Tabel Perhitungan Bahan bakar B0, 0% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
				Tegangan (volt)	Arus (Ampere)											
1800	1805	1000	1308	179	3.5	0.00001	72.235	0.0201	840000	0.9928	0.6682	418.6336	626.5281	3.5368	0.000493	14347.9889
1800	1802	2000	1302	189	7.5	0.00001	53.455	0.0148	840000	0.9899	1.5162	565.7095	373.0986	8.0391	0.000493	32612.9273
1800	1803	3000	1299	191	11.3	0.00001	38.6	0.0107	840000	0.9870	2.3153	783.4197	338.3710	12.2687	0.000493	49771.4576
1800	1806	4000	1296	187	15.1	0.00001	32.05	0.0089	840000	0.9831	3.0411	943.5257	310.2555	16.0882	0.000493	65266.6395
1800	1807	5000	1288	181	18.6	0.00001	22.22	0.0062	840000	0.9765	3.6504	1360.9361	372.8215	19.3006	0.000493	78298.4844
1900	1904	1000	1378	193	3.6	0.00001	69.26	0.0192	840000	0.9915	0.7420	436.6157	588.4624	3.7231	0.000493	15103.8718
1900	1904	2000	1374	202	7.8	0.00001	49.08	0.0136	840000	0.9886	1.6874	616.1369	365.1304	8.4675	0.000493	34350.8066
1900	1903	3000	1366	200	11.7	0.00001	35.59	0.0099	840000	0.9834	2.5195	849.6769	337.2460	12.6491	0.000493	51314.8257
1900	1904	4000	1363	200	15.7	0.00001	29.115	0.0081	840000	0.9807	3.3900	1038.6399	306.3806	17.0109	0.000493	69009.9149
1900	1906	5000	1348	192	19.3	0.00001	22.195	0.0062	840000	0.9689	4.0494	1362.4690	336.4589	20.2985	0.000493	82346.7216
2000	2006	1000	1444	211	3.8	0.00001	48.725	0.0135	840000	0.9862	0.8609	620.6260	720.9367	4.1001	0.000493	16633.2287
2000	2004	2000	1441	215	8.1	0.00001	40.545	0.0113	840000	0.9851	1.8718	745.8380	398.4596	8.9239	0.000493	36202.3862
2000	2005	3000	1440	217	12.3	0.00001	32.805	0.0091	840000	0.9839	2.8722	921.8107	320.9386	13.6866	0.000493	55523.9114
2000	2006	4000	1435	213	16.3	0.00001	26.635	0.0074	840000	0.9800	3.7510	1135.3482	302.6773	17.8653	0.000493	72475.7981
2000	2005	5000	1415	204	20	0.00001	19.03	0.0053	840000	0.9669	4.4681	1589.0699	355.6492	21.2911	0.000493	86373.6799
2100	2103	1000	1528	226	3.9	0.00001	47.94	0.0133	840000	0.9954	0.9375	630.7885	672.8090	4.2594	0.000493	17279.3496
2100	2105	2000	1515	229	8.4	0.00001	38.465	0.0107	840000	0.9860	2.0657	786.1692	380.5912	9.3756	0.000493	38034.6800
2100	2101	3000	1505	230	12.6	0.00001	29.99	0.0083	840000	0.9814	3.1267	1008.3361	322.4886	14.2186	0.000493	57681.9031
2100	2105	4000	1504	226	16.9	0.00001	24.245	0.0067	840000	0.9789	4.1314	1247.2675	301.8959	18.7518	0.000493	76072.0803
2100	2106	5000	1478	216	20.6	0.00001	18.035	0.0050	840000	0.9615	4.9001	1676.7397	342.1824	22.2301	0.000493	90182.9084
2200	2205	1000	1589	240	4.1	0.00001	46.84	0.0130	840000	0.9873	1.0553	645.6020	611.7614	4.5726	0.000493	18550.2130
2200	2202	2000	1586	243	8.7	0.00001	35.15	0.0098	840000	0.9867	2.2685	860.3129	379.2397	9.8428	0.000493	39930.0674
2200	2202	3000	1580	244	13.1	0.00001	25.45	0.0071	840000	0.9830	3.4429	1188.2122	345.1196	14.9382	0.000493	60601.2713
2200	2200	4000	1579	240	17.5	0.00001	20.74	0.0058	840000	0.9833	4.5226	1458.0521	322.3890	19.6409	0.000493	79679.1807
2200	2205	5000	1530	225	21.1	0.00001	15.35	0.0043	840000	0.9506	5.2879	1970.0326	372.5532	22.9123	0.000493	92950.3955

Tabel Perhitungan Bahan bakar B20, 0% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminiator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/kwh)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
				Tegangan (volt)	Arus (Ampere)											
1800	1803	1000	1307	178	3.4	0.00001	70.58	0.0196	840000	0.9931	0.6452	428.4500	664.0153	3.4191	0.000493	13870.7847
1800	1802	2000	1301	188	7.4	0.00001	55.61	0.0154	840000	0.9891	1.4893	543.7871	365.1395	7.8960	0.000493	32032.4364
1800	1801	3000	1295	196	11.4	0.00001	40.78	0.0113	840000	0.9851	2.4016	741.5400	308.7640	12.7405	0.000493	51685.5157
1800	1802	4000	1294	191	15.2	0.00001	32.69	0.0091	840000	0.9838	3.1246	925.0535	296.0809	16.5667	0.000493	67207.9082
1800	1800	5000	1281	185	18.4	0.00001	20.19	0.0056	840000	0.9750	3.6967	1497.7712	405.1628	19.6216	0.000493	79600.9262
1900	1902	1000	1377	201	3.6	0.00001	62.21	0.0173	840000	0.9918	0.7725	486.0955	629.2793	3.8802	0.000493	15741.3624
1900	1901	2000	1371	204	7.7	0.00001	51.38	0.0143	840000	0.9880	1.6833	588.5559	349.6384	8.4601	0.000493	34321.0952
1900	1902	3000	1367	207	11.9	0.00001	37.17	0.0103	840000	0.9846	2.6489	813.5593	307.1333	13.3059	0.000493	53979.2060
1900	1902	4000	1362	205	15.8	0.00001	29.2	0.0081	840000	0.9810	3.4958	1035.6164	296.2454	17.5602	0.000493	71237.9708
1900	1901	5000	1349	194	19.1	0.00001	19.14	0.0053	840000	0.9722	4.0356	1579.9373	391.4998	20.2823	0.000493	82281.2436
2000	2002	1000	1447	210	3.8	0.00001	59.78	0.0166	840000	0.9902	0.8533	505.8548	592.8222	4.0722	0.000493	16520.0767
2000	2003	2000	1444	218	8.1	0.00001	47.87	0.0133	840000	0.9877	1.8930	631.7109	333.7030	9.0296	0.000493	36631.2736
2000	2001	3000	1434	219	12.4	0.00001	33.67	0.0094	840000	0.9818	2.9286	898.1289	306.6704	13.9834	0.000493	56727.5919
2000	2002	4000	1429	214	16.4	0.00001	26.84	0.0075	840000	0.9779	3.8001	1126.6766	296.4878	18.1351	0.000493	73570.3958
2000	2001	5000	1406	206	19.9	0.00001	18.78	0.0052	840000	0.9626	4.5091	1610.2236	357.1093	21.5293	0.000493	87339.8971
2100	2103	1000	1521	225	4	0.00001	53.97	0.0150	840000	0.9909	0.9617	560.3113	582.6044	4.3693	0.000493	17725.1939
2100	2102	2000	1519	232	8.3	0.00001	44.76	0.0124	840000	0.9900	2.0594	675.6032	328.0558	9.3606	0.000493	37973.9700
2100	2101	3000	1511	235	12.8	0.00001	30.44	0.0085	840000	0.9853	3.2325	993.4297	307.3227	14.6997	0.000493	59633.6054
2100	2101	4000	1499	231	16.9	0.00001	24.71	0.0069	840000	0.9775	4.2289	1223.7960	289.3896	19.2305	0.000493	78014.3961
2100	2103	5000	1471	217	20.3	0.00001	17.17	0.0048	840000	0.9583	4.8673	1761.2114	361.8479	22.1125	0.000493	89705.8568
2200	2202	1000	1591	241	4.1	0.00001	43.21	0.0120	840000	0.9899	1.0569	699.8380	662.1349	4.5859	0.000493	18604.0895
2200	2201	2000	1585	244	8.7	0.00001	39.41	0.0109	840000	0.9866	2.2783	767.3179	336.8003	9.8895	0.000493	40119.6848
2200	2202	3000	1580	246	13.1	0.00001	27.47	0.0076	840000	0.9830	3.4711	1100.8373	317.1418	15.0607	0.000493	61098.0030
2200	2201	4000	1565	242	17.4	0.00001	21.68	0.0060	840000	0.9741	4.5769	1394.8339	304.7538	19.8676	0.000493	80598.6879
2200	2201	5000	1528	220	21.2	0.00001	14.87	0.0041	840000	0.9511	5.1923	2033.6247	391.6630	22.5387	0.000493	91435.0880

Tabel Perhitungan Bahan bakar B20, 10% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminiator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m ³)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m ³)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/kwh)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m ³)	BMEP (N/m ²)
				Tegangan (volt)	Arus (Amper)												
1800	1802	1000	1304	180	3.5	0.00001	1.169	70.16	0.0195	840000	0.9914	0.6729	431.0148	640.5772	3.5674	0.000493	14472.4033
1800	1803	2000	1300	189	7.5	0.00001	0.906	54.35	0.0151	840000	0.9878	1.5194	556.3937	366.1877	8.0515	0.000493	32663.1011
1800	1803	3000	1295	191	11.4	0.00001	0.645	38.68	0.0107	840000	0.9840	2.3430	781.7994	333.6784	12.4155	0.000493	50367.0076
1800	1801	4000	1288	187	15.2	0.00001	0.499	29.92	0.0083	840000	0.9798	3.0718	1010.6952	329.0290	16.2954	0.000493	66106.9364
1800	1805	5000	1282	181	18.7	0.00001	0.340	20.38	0.0057	840000	0.9730	3.6831	1483.8077	402.8703	19.4952	0.000493	79087.8657
1900	1902	1000	1372	192	3.6	0.00001	1.003	60.2	0.0167	840000	0.9882	0.7406	502.3256	678.3005	3.7200	0.000493	15901.3231
1900	1903	2000	1372	201	7.7	0.00001	0.800	48.02	0.0133	840000	0.9877	1.6591	629.7376	379.5641	8.3297	0.000493	33791.7257
1900	1902	3000	1365	203	11.8	0.00001	0.575	34.49	0.0096	840000	0.9832	2.5796	876.7759	339.8832	12.9581	0.000493	52568.1984
1900	1902	4000	1360	199	15.7	0.00001	0.454	27.21	0.0076	840000	0.9796	3.3770	1111.3561	329.0985	16.9632	0.000493	68816.3319
1900	1902	5000	1344	191	19.2	0.00001	0.288	17.28	0.0048	840000	0.9681	4.0110	1750.0000	436.3040	20.1479	0.000493	81735.9335
2000	2001	1000	1445	205	3.7	0.00001	0.939	56.34	0.0157	840000	0.9893	0.8118	536.7412	661.1913	3.8760	0.000493	15724.0870
2000	2002	2000	1442	213	7.9	0.00001	0.694	41.62	0.0116	840000	0.9868	1.8055	726.5738	402.4122	8.6166	0.000493	34955.7910
2000	2004	3000	1438	215	12.2	0.00001	0.548	32.86	0.0091	840000	0.9831	2.8251	920.2678	325.7422	13.4690	0.000493	54640.8069
2000	2003	4000	1428	210	16.2	0.00001	0.424	25.41	0.0071	840000	0.9767	3.6880	1190.0826	322.6911	17.5914	0.000493	71364.7587
2000	2002	5000	1410	202	19.7	0.00001	0.285	17.11	0.0048	840000	0.9649	4.3668	1767.3875	404.7308	20.8398	0.000493	84542.7134
2100	2101	1000	1514	219	3.8	0.00001	0.889	53.34	0.0148	840000	0.9872	0.8925	566.9291	635.1815	4.0588	0.000493	16465.6749
2100	2102	2000	1512	227	8.2	0.00001	0.602	36.14	0.0100	840000	0.9855	2.0000	836.7460	418.5791	9.0904	0.000493	36877.8521
2100	2105	3000	1510	230	12.6	0.00001	0.498	29.85	0.0083	840000	0.9828	3.1223	1013.0653	324.4598	14.1715	0.000493	57490.9034
2100	2104	4000	1498	225	16.8	0.00001	0.382	22.94	0.0064	840000	0.9754	4.1033	1318.2214	321.2622	18.6326	0.000493	75588.8409
2100	2104	5000	1470	212	20.2	0.00001	0.257	15.39	0.0043	840000	0.9572	4.7372	1964.9123	414.7864	21.5112	0.000493	87266.5075
2200	2201	1000	1591	237	4	0.00001	0.882	52.94	0.0147	840000	0.9903	1.0136	571.2127	563.5554	4.3998	0.000493	17849.0809
2200	2201	2000	1588	242	8.5	0.00001	0.575	34.51	0.0096	840000	0.9884	2.2035	876.2677	397.6765	9.5649	0.000493	38802.6595
2200	2201	3000	1575	243	13.1	0.00001	0.426	25.56	0.0071	840000	0.9803	3.4381	1183.0986	344.1128	14.9242	0.000493	60544.5019
2200	2199	4000	1563	236	17.2	0.00001	0.338	20.29	0.0056	840000	0.9738	4.4138	1490.3894	337.6681	19.1768	0.000493	77796.3410
2200	2203	5000	1531	218	21.1	0.00001	0.219	13.11	0.0036	840000	0.9521	5.1154	2306.6362	450.9183	22.1849	0.000493	89999.7821

Tabel Perhitungan Bahan bakar B20, 20% EGR

Putaran Engine		Be ban	Putaran Aluminator	Alternator		Bahan Bakar	Waktu (menit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (Ampere)												
1800	1802	1000	1301	173	3.3	0.00001	1.190	71.39	0.0198	840000	0.9891	0.6111	423.5887	693.1127	3.2402	0.000493	13144.9956
1800	1802	2000	1298	186	7.3	0.00001	0.857	51.41	0.0143	840000	0.9868	1.4569	588.2124	403.7525	7.7242	0.000493	31335.6575
1800	1801	3000	1293	188	11.2	0.00001	0.689	41.32	0.0115	840000	0.9836	2.2667	731.8490	322.8698	12.0246	0.000493	48781.4883
1800	1801	4000	1288	184	15	0.00001	0.529	31.71	0.0088	840000	0.9798	2.9827	953.6424	319.7243	15.8230	0.000493	64190.5237
1800	1802	5000	1283	180	18.4	0.00001	0.300	18.01	0.0050	840000	0.9754	3.5952	1679.0672	467.0320	19.0616	0.000493	77328.8179
1900	1900	1000	1374	191	3.4	0.00001	1.034	62.05	0.0172	840000	0.9907	0.6940	487.3489	702.1952	3.4900	0.000493	14158.0438
1900	1901	2000	1367	199	7.5	0.00001	0.736	44.18	0.0123	840000	0.9852	1.6041	684.4726	426.7024	8.0620	0.000493	32705.7057
1900	1901	3000	1362	202	11.7	0.00001	0.604	36.23	0.0101	840000	0.9816	2.5494	834.6674	327.3921	12.8131	0.000493	51980.1853
1900	1900	4000	1359	198	15.5	0.00001	0.470	28.19	0.0078	840000	0.9799	3.3161	1072.7208	323.4839	16.6752	0.000493	67648.0265
1900	1900	5000	1344	191	19	0.00001	0.265	15.91	0.0044	840000	0.9691	3.9650	1900.6914	479.3661	19.9380	0.000493	80884.5175
2000	2003	1000	1444	204	3.6	0.00001	0.924	55.41	0.0154	840000	0.9877	0.7873	545.7499	693.1771	3.7554	0.000493	15235.0251
2000	2003	2000	1443	213	7.9	0.00001	0.703	42.18	0.0117	840000	0.9870	1.8052	716.9275	397.1466	8.6106	0.000493	34931.5666
2000	2003	3000	1441	217	12.1	0.00001	0.568	34.07	0.0095	840000	0.9856	2.8208	887.5844	314.6622	13.4548	0.000493	54583.1786
2000	2003	4000	1431	211	16.1	0.00001	0.437	26.21	0.0073	840000	0.9788	3.6750	1153.7581	313.9512	17.5292	0.000493	71112.5737
2000	1999	5000	1411	200	19.6	0.00001	0.229	13.71	0.0038	840000	0.9670	4.2921	2205.6893	513.8892	20.5142	0.000493	83221.7325
2100	2102	1000	1515	221	3.8	0.00001	0.887	53.24	0.0148	840000	0.9874	0.9005	567.9940	630.7319	4.0932	0.000493	16605.0787
2100	2100	2000	1510	227	8.2	0.00001	0.643	38.56	0.0107	840000	0.9851	2.0007	784.2324	391.9762	9.1024	0.000493	36926.6969
2100	2101	3000	1507	230	12.6	0.00001	0.496	29.78	0.0083	840000	0.9827	3.1226	1015.4466	325.1943	14.1997	0.000493	57605.3512
2100	2100	4000	1493	224	16.7	0.00001	0.390	23.37	0.0065	840000	0.9740	4.0666	1293.9666	318.1970	18.5012	0.000493	75055.4756
2100	2098	5000	1466	214	19.7	0.00001	0.205	12.3	0.0034	840000	0.9573	4.6629	2458.5366	527.2567	21.2344	0.000493	86143.7411
2200	2199	1000	1588	238	4	0.00001	0.794	47.61	0.0132	840000	0.9893	1.0189	635.1607	623.4030	4.4267	0.000493	17958.2557
2200	2200	2000	1586	242	8.5	0.00001	0.607	36.42	0.0101	840000	0.9876	2.2052	830.3130	376.5174	9.5769	0.000493	38851.5910
2200	2201	3000	1574	243	13	0.00001	0.439	26.34	0.0073	840000	0.9797	3.4140	1148.0638	336.2777	14.8197	0.000493	60120.5019
2200	2198	4000	1560	235	17.1	0.00001	0.308	18.45	0.0051	840000	0.9723	4.3759	1639.0244	374.5548	19.0210	0.000493	77164.4160
2200	2197	4500	1519	218	18.8	0.00001	0.235	14.1	0.0039	840000	0.9472	4.5813	2144.6809	468.1371	19.9228	0.000493	80822.8701

Tabel Perhitungan Bahan bakar B20, 30% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
			Tegangan (volt)	Arus (Ampere)												
1800	1803	1000	1305	181	3.4	0.00001	1.100	66	0.0183	840000	0.9916	0.6571	458.1818	697.2558	3.4821	14126.1782
1800	1802	2000	1297	182	7.4	0.00001	0.877	52.6	0.01446	840000	0.9861	1.4462	574.9049	397.5348	7.6676	31105.7610
1800	1801	3000	1293	186	11.3	0.00001	0.637	38.2	0.01016	840000	0.9836	2.2626	791.6230	349.8717	12.0029	48693.4518
1800	1802	4000	1283	182	14.9	0.00001	0.515	30.9	0.00866	840000	0.9754	2.9437	978.6408	332.4563	15.6072	63315.3045
1800	1801	5000	1270	180	18.3	0.00001	0.397	23.8	0.00666	840000	0.9661	3.6102	1270.5882	351.9397	19.1520	77695.8055
1900	1902	1000	1375	191	3.6	0.00001	1.083	65	0.0181	840000	0.9904	0.7351	465.2308	632.8805	3.6926	14979.9674
1900	1904	2000	1372	202	7.7	0.00001	0.830	49.8	0.0138	840000	0.9872	1.6682	607.2289	363.9942	8.3711	33959.8437
1900	1903	3000	1366	203	11.8	0.00001	0.570	34.2	0.0095	840000	0.9834	2.5791	884.2105	342.8361	12.9486	52529.7151
1900	1901	4000	1351	199	15.4	0.00001	0.460	27.6	0.0077	840000	0.9736	3.3328	1095.6522	328.7525	16.7499	67951.0462
1900	1902	5000	1320	197	19	0.00001	0.333	20	0.0056	840000	0.9508	4.1683	1512.0000	362.7374	20.9383	84942.2177
2000	2002	1000	1449	203	3.8	0.00001	0.812	48.7	0.0135	840000	0.9916	0.8237	620.9446	753.8319	3.9310	15947.3655
2000	2003	2000	1443	214	7.9	0.00001	0.672	40.3	0.0112	840000	0.9870	1.8137	750.3722	413.7312	8.6511	35095.5646
2000	2002	3000	1436	215	12.1	0.00001	0.523	31.4	0.0087	840000	0.9827	2.8031	963.0573	343.5703	13.3772	54268.4091
2000	2000	4000	1424	211	16	0.00001	0.428	25.7	0.0071	840000	0.9754	3.6646	1176.6537	321.0874	17.5060	71018.2797
2000	2001	5000	1380	208	18.8	0.00001	0.313	18.8	0.0052	840000	0.9448	4.3822	1608.5106	367.0555	20.9236	84882.8196
2100	2103	1000	1517	220	3.9	0.00001	0.788	47.3	0.0131	840000	0.9883	0.9193	639.3235	695.4672	4.1763	16942.5746
2100	2101	2000	1512	230	8.2	0.00001	0.613	36.8	0.0102	840000	0.9859	2.0254	821.7391	405.7093	9.2105	37365.2246
2100	2102	3000	1509	232	12.6	0.00001	0.465	27.9	0.0078	840000	0.9835	3.1471	1083.8710	344.4075	14.3042	58029.2543
2100	2102	4000	1493	225	16.6	0.00001	0.412	24.7	0.0069	840000	0.9731	4.0641	1224.2915	301.2439	18.4725	74939.1043
2100	2103	4500	1450	220	18.3	0.00001	0.358	21.5	0.0060	840000	0.9446	4.5128	1406.5116	311.6702	20.5022	83173.2109
2200	2202	1000	1589	235	4.1	0.00001	0.717	43	0.0119	840000	0.9886	1.0319	703.2558	681.4989	4.4774	18163.7502
2200	2203	2000	1585	239	8.5	0.00001	0.560	33.6	0.0093	840000	0.9857	2.1823	900.0000	412.4178	9.4642	38394.1679
2200	2201	3000	1571	240	13	0.00001	0.388	23.3	0.0065	840000	0.9779	3.3783	1297.8541	384.1708	14.6647	59491.6629
2200	2201	4000	1551	229	17.2	0.00001	0.295	17.7	0.0049	840000	0.9654	4.3199	1708.4746	395.4880	18.7520	76072.8752
2200	2203	4200	1542	240	18	0.00001	0.280	16.8	0.0047	840000	0.9589	4.7700	1800.0000	377.3598	20.6868	83922.2411

Tabel Perhitungan Bahan bakar B30, 0% EGR

Putaran Engine		Behan	Putaran Aluminator		Alternator		Bahan Bakar	Waktu (me nit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Effisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
(rpm) kontrol	(rpm) aktual		Tegangan	Arus	(volt)	(Ampere)												
1800	1801	1000	177	3.4	0.00001	1.179	70.75	0.0197	840000	0.9957	0.6399	427.4205	667.9225	3.3947	0.000493	13771.7851		
1800	1801	2000	189	7.4	0.00001	0.935	56.08	0.0156	840000	0.9897	1.4963	539.2297	360.3635	7.9380	0.000493	32202.8217		
1800	1801	3000	1296	198	11.4	0.00001	0.681	40.88	0.0114	840000	0.9859	2.4243	739.7260	305.1330	12.8606	0.000493	52172.6312	
1800	1802	4000	1293	190	15.1	0.00001	0.548	32.85	0.0091	840000	0.9830	3.0902	920.5479	297.8905	16.3843	0.000493	66467.5580	
1800	1800	5000	1281	185	0.00001	0.335	20.07	0.0056	840000	0.9750	3.6967	1506.7265	407.5853	19.6216	0.000493	79600.9262		
1900	1901	1000	1376	202	3.6	0.00001	1.040	62.38	0.0173	840000	0.9916	0.7765	484.7708	624.3324	3.9024	0.000493	15831.1745	
1900	1901	2000	1371	205	7.7	0.00001	0.859	51.55	0.0143	840000	0.9880	1.6916	586.6154	346.7854	8.5016	0.000493	34489.3358	
1900	1903	3000	1368	207	11.9	0.00001	0.622	37.34	0.0104	840000	0.9848	2.6483	809.8554	305.7979	13.2961	0.000493	53939.7475	
1900	1902	4000	1362	204	15.7	0.00001	0.490	29.37	0.0082	840000	0.9810	3.4567	1029.6221	297.8596	17.3639	0.000493	70441.7946	
1900	1901	5000	1349	194	19.1	0.00001	0.322	19.31	0.0054	840000	0.9722	4.0356	1566.0280	388.0532	20.2823	0.000493	82281.2436	
2000	2002	1000	1447	210	3.8	0.00001	0.999	59.95	0.0167	840000	0.9902	0.8533	504.4204	591.1411	4.0722	0.000493	16520.0767	
2000	2002	2000	1443	218	8.1	0.00001	0.801	48.04	0.0133	840000	0.9875	1.8934	629.4754	332.4578	9.0359	0.000493	36656.6591	
2000	2001	3000	1434	220	12.4	0.00001	0.565	33.87	0.0094	840000	0.9818	2.9420	892.8255	303.4738	14.0472	0.000493	56986.6220	
2000	2002	4000	1429	214	16.4	0.00001	0.450	27.01	0.0075	840000	0.9779	3.8001	1119.5853	294.6217	18.1351	0.000493	73570.3958	
2000	2001	5000	1406	205	19.8	0.00001	0.318	19.05	0.0053	840000	0.9626	4.4646	1587.4016	355.5519	21.3171	0.000493	86479.1536	
2100	2101	1000	1520	227	4	0.00001	0.902	54.14	0.0150	840000	0.9911	0.9700	558.5519	575.8272	4.4110	0.000493	17894.5162	
2100	2102	2000	1517	233	8.3	0.00001	0.749	44.93	0.0125	840000	0.9887	2.0710	673.0470	324.9834	9.4133	0.000493	38187.9313	
2100	2101	3000	1511	235	12.7	0.00001	0.509	30.51	0.0085	840000	0.9853	3.2073	991.1504	309.0320	14.5848	0.000493	59167.7179	
2100	2101	4000	1499	230	16.9	0.00001	0.415	24.88	0.0069	840000	0.9775	4.2106	1215.4341	288.6619	19.1473	0.000493	77676.6715	
2100	2103	5000	1471	217	20.3	0.00001	0.289	17.34	0.0048	840000	0.9583	4.8673	1743.9446	358.3004	22.1125	0.000493	89705.8568	
2200	2202	1000	1593	243	4.1	0.00001	0.723	43.38	0.0121	840000	0.9911	1.0644	697.0954	654.9340	4.6182	0.000493	18734.9291	
2200	2201	2000	1585	246	8.6	0.00001	0.660	39.58	0.0110	840000	0.9866	2.2705	764.0222	336.4950	9.8560	0.000493	39983.6090	
2200	2202	3000	1580	247	13.1	0.00001	0.461	27.64	0.0077	840000	0.9830	3.4852	1094.0666	313.9151	15.1219	0.000493	61346.3689	
2200	2202	4000	1566	242	17.5	0.00001	0.364	21.85	0.0061	840000	0.9743	4.6024	1383.9817	300.7103	19.9690	0.000493	81010.1351	
2200	2201	5000	1528	220	21.1	0.00001	0.251	15.04	0.0042	840000	0.9511	5.1678	2010.6383	389.0712	22.4324	0.000493	91003.7904	

Tabel Perhitungan Bahan bakar B30, 10% EGR

Putaran Engine		Beban (watt)	Putaran Aluminiator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume	
(rpm) kontrol	(rpm) aktual			Tegangan (volt)	Arus (Ampere)											Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
1800	1801	1000	1303	175	3.3	0.00001	1.164	69.82	0.0194	840000	0.9912	0.6169	433.1137	702.0655	3.2727	0.000493	13276.5511
1800	1800	2000	1296	188	7.2	0.00001	0.919	55.15	0.0153	840000	0.9864	1.4530	548.2228	377.3770	7.7122	0.000493	31286.9367
1800	1802	3000	1294	196	11.2	0.00001	0.666	39.95	0.0111	840000	0.9838	2.3626	756.9462	320.3815	12.5266	0.000493	50817.9940
1800	1804	4000	1292	188	15	0.00001	0.532	31.92	0.0089	840000	0.9812	3.0432	947.3684	311.3098	16.1169	0.000493	65382.9173
1800	1800	5000	1278	182	18.3	0.00001	0.319	19.14	0.0053	840000	0.9727	3.6255	1579.9373	435.7854	19.2436	0.000493	78067.3295
1900	1900	1000	1371	200	3.4	0.00001	1.024	61.45	0.0171	840000	0.9886	0.7283	492.1074	675.6656	3.6624	0.000493	14857.6170
1900	1901	2000	1367	203	7.5	0.00001	0.844	50.62	0.0141	840000	0.9852	1.6363	597.3923	365.0781	8.2240	0.000493	33363.1068
1900	1903	3000	1365	205	11.7	0.00001	0.607	36.41	0.0101	840000	0.9827	2.5843	830.5411	321.3751	12.9748	0.000493	52636.2294
1900	1900	4000	1359	201	15.5	0.00001	0.474	28.44	0.0079	840000	0.9799	3.3664	1063.2911	315.8547	16.9279	0.000493	68672.9966
1900	1901	5000	1344	192	19	0.00001	0.306	18.38	0.0051	840000	0.9686	3.9879	1645.2666	412.5680	20.0424	0.000493	81307.9966
2000	2003	1000	1446	208	3.6	0.00001	0.977	58.62	0.0163	840000	0.9890	0.8016	515.8649	643.5088	3.8238	0.000493	15512.2660
2000	2002	2000	1442	218	7.8	0.00001	0.785	47.11	0.0131	840000	0.9868	1.8245	641.9019	351.8161	8.7072	0.000493	35323.4843
2000	2002	3000	1433	220	12.1	0.00001	0.549	32.94	0.0092	840000	0.9806	2.8743	918.0328	319.3958	13.7169	0.000493	55646.7187
2000	2002	4000	1427	213	16	0.00001	0.435	26.08	0.0072	840000	0.9765	3.6952	1159.5092	313.7845	17.6348	0.000493	71540.7210
2000	2000	5000	1404	204	19.6	0.00001	0.302	18.12	0.0050	840000	0.9617	4.4020	1668.8742	379.1154	21.0288	0.000493	85309.3888
2100	2102	1000	1518	227	3.8	0.00001	0.854	51.21	0.0142	840000	0.9894	0.9232	590.5097	639.6665	4.1960	0.000493	17022.1880
2100	2102	2000	1513	232	8.1	0.00001	0.733	44	0.0122	840000	0.9861	2.0178	687.2727	340.6115	9.1713	0.000493	37205.8966
2100	2101	3000	1509	234	12.5	0.00001	0.493	29.58	0.0082	840000	0.9840	3.1475	1022.3124	324.8014	14.3130	0.000493	58064.9866
2100	2102	4000	1496	229	16.6	0.00001	0.399	23.95	0.0067	840000	0.9750	4.1281	1262.6305	305.8641	18.7632	0.000493	76118.4045
2100	2104	5000	1469	214	20.4	0.00001	0.269	16.11	0.0045	840000	0.9565	4.8325	1877.0950	388.4323	21.9440	0.000493	89022.5119
2200	2203	1000	1591	242	3.9	0.00001	0.708	42.45	0.0118	840000	0.9894	1.0100	712.3675	705.3047	4.3803	0.000493	17770.0027
2200	2201	2000	1583	246	8.4	0.00001	0.644	38.65	0.0107	840000	0.9853	2.2205	782.4062	352.3512	9.6389	0.000493	39103.0990
2200	2202	3000	1579	247	13	0.00001	0.429	25.71	0.0071	840000	0.9824	3.4608	1176.1960	339.8609	15.0159	0.000493	60916.6308
2200	2202	4000	1565	239	17.2	0.00001	0.339	20.32	0.0056	840000	0.9737	4.4703	1488.1890	332.9092	19.3958	0.000493	78684.5935
2200	2201	5000	1527	219	21	0.00001	0.219	13.11	0.0036	840000	0.9505	5.1233	2306.6362	450.2271	22.2392	0.000493	90219.8441

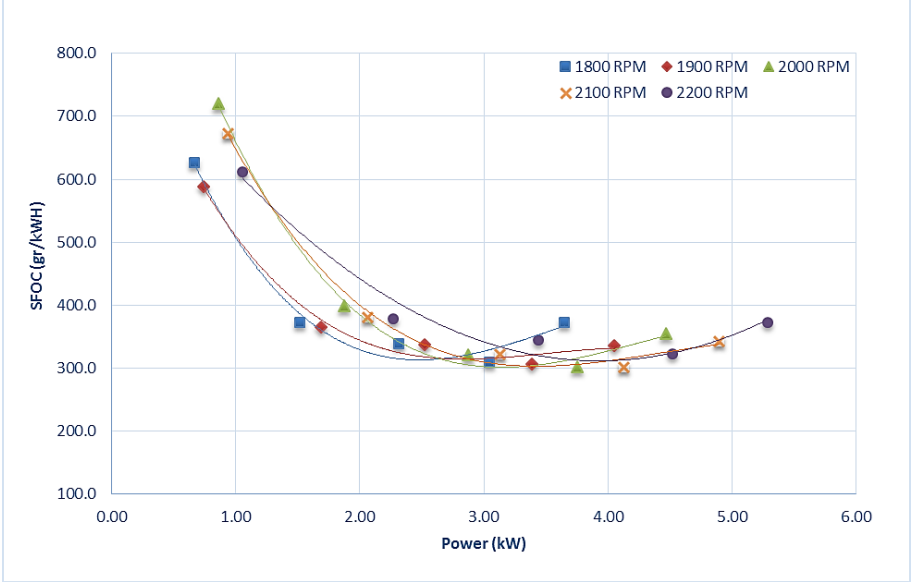
Tabel Perhitungan Bahan bakar B30, 20% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	Putaran Engine (rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminiator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (menit)	Waktu (detik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/kwh)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
				Tegangan (volt)	Arus (Ampere)												
1800	1802	1000	1303	178	3.4	0.00001	1.185	71.09	0.0197	840000	0.9906	0.6469	425.3763	657.5987	3.4296	0.000493	13913.3658
1800	1803	2000	1298	188	7.4	0.00001	0.965	57.91	0.0161	840000	0.9863	1.4935	522.1896	349.6348	7.9142	0.000493	32106.4713
1800	1802	3000	1291	190	11.3	0.00001	0.699	41.92	0.0116	840000	0.9815	2.3161	721.3740	311.4561	12.2801	0.000493	49817.6804
1800	1801	4000	1287	186	15.1	0.00001	0.536	32.13	0.0089	840000	0.9790	3.0376	941.1765	309.8439	16.1141	0.000493	65371.3894
1800	1805	5000	1277	180	18.4	0.00001	0.341	20.45	0.0057	840000	0.9692	3.6181	1478.7286	408.7039	19.1511	0.000493	77692.1483
1900	1903	1000	1374	192	3.5	0.00001	1.056	63.38	0.0176	840000	0.9892	0.7193	477.1221	663.2927	3.6114	0.000493	14650.7629
1900	1902	2000	1370	201	7.6	0.00001	0.949	56.94	0.0158	840000	0.9868	1.6391	531.0854	324.0125	8.2335	0.000493	33401.5624
1900	1902	3000	1365	204	11.7	0.00001	0.626	37.55	0.0104	840000	0.9832	2.5704	805.3262	313.3105	12.9115	0.000493	52379.4673
1900	1903	4000	1359	198	15.6	0.00001	0.489	29.31	0.0081	840000	0.9784	3.3428	1031.7298	308.6412	16.7828	0.000493	68084.4654
1900	1903	5000	1342	191	19.1	0.00001	0.318	19.08	0.0053	840000	0.9661	3.9981	1584.9057	396.4125	20.0728	0.000493	81431.4052
2000	2003	1000	1447	206	3.7	0.00001	0.968	58.05	0.0161	840000	0.9897	0.8154	520.9302	638.8445	3.8895	0.000493	15778.9505
2000	2000	2000	1438	215	7.9	0.00001	0.762	45.72	0.0127	840000	0.9850	1.8257	661.4173	362.2729	8.7217	0.000493	35382.1618
2000	2001	3000	1434	216	12.1	0.00001	0.570	34.18	0.0095	840000	0.9818	2.8186	884.7279	313.8843	13.4581	0.000493	54596.8605
2000	2003	4000	1428	211	16.1	0.00001	0.448	26.85	0.0075	840000	0.9767	3.6827	1126.2570	305.8253	17.5661	0.000493	71261.9699
2000	2000	5000	1403	202	19.5	0.00001	0.314	18.83	0.0052	840000	0.9611	4.3397	1605.9480	370.0583	20.7311	0.000493	84101.9391
2100	2102	1000	1522	223	3.8	0.00001	0.882	52.89	0.0147	840000	0.9920	0.9045	571.7527	632.1188	4.1112	0.000493	16678.2895
2100	2100	2000	1513	235	8.2	0.00001	0.715	42.88	0.0119	840000	0.9871	2.0671	705.2239	341.1630	9.4045	0.000493	38152.2791
2100	2101	3000	1510	237	12.6	0.00001	0.501	30.08	0.0084	840000	0.9846	3.2112	1005.3191	313.0639	14.6028	0.000493	59240.6266
2100	2101	4000	1493	226	16.8	0.00001	0.391	23.48	0.0065	840000	0.9735	4.1294	1287.9046	311.8866	18.7781	0.000493	76179.0606
2100	2094	5000	1466	215	19.7	0.00001	0.274	16.43	0.0046	840000	0.9591	4.6757	1840.5356	393.6351	21.3337	0.000493	86546.2820
2200	2203	1000	1588	239	4	0.00001	0.818	49.08	0.0136	840000	0.9875	1.0250	616.1369	601.1077	4.4453	0.000493	18033.7105
2200	2203	2000	1586	243	8.5	0.00001	0.675	40.48	0.0112	840000	0.9863	2.2174	747.0356	336.9006	9.6165	0.000493	39012.1348
2200	2202	3000	1579	245	13	0.00001	0.452	27.11	0.0075	840000	0.9824	3.4328	1115.4556	324.9411	14.8944	0.000493	60423.3787
2200	2200	4000	1564	239	17.2	0.00001	0.297	17.8	0.0049	840000	0.9739	4.4691	1698.8764	380.1426	19.4082	0.000493	78734.9034
2200	2200	4500	1523	219	18.9	0.00001	0.277	16.6	0.0046	840000	0.9484	4.6210	1821.6867	394.2230	20.0678	0.000493	81411.1173

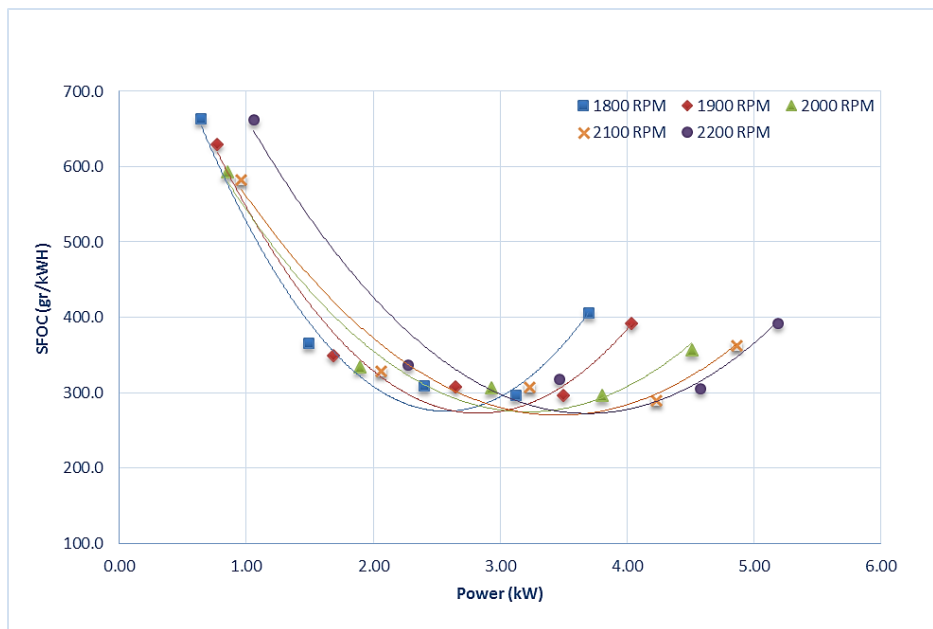
Tabel Perhitungan Bahan bakar B30, 30% EGR

Putaran Engine (rpm) kontrol	(rpm) aktual	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Bahan Bakar (m3)	Waktu (ment)	Waktu (de.tik)	waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	Volume Displacement (m3)	BMEP (N/m²)
				Tegangan (volt)	Arus (Ampere)												
1800	1805	1000	1307	180	3.4	0.00001	1.100	66	0.0183	840000	0.9920	0.6532	458.1818	701.4259	3.4576	0.000493	14026.6362
1800	1801	2000	1298	184	7.4	0.00001	0.877	52.6	0.0146	840000	0.9874	1.4601	574.9049	393.7354	7.7459	0.000493	31423.3549
1800	1806	3000	1295	189	11.3	0.00001	0.637	38.2	0.0106	840000	0.9824	2.3019	791.6230	343.8960	12.1777	0.000493	49402.4149
1800	1801	4000	1284	183	14.9	0.00001	0.515	30.9	0.0086	840000	0.9767	2.9559	978.6408	331.0810	15.6808	0.000493	63613.6088
1800	1801	5000	1271	179	18.3	0.00001	0.397	23.8	0.0066	840000	0.9668	3.5874	1270.5882	354.1845	19.0306	0.000493	77203.3721
1900	1903	1000	1376	191	3.6	0.00001	1.083	65	0.0181	840000	0.9906	0.7350	465.2308	633.0080	3.6899	0.000493	14969.0808
1900	1903	2000	1373	202	7.7	0.00001	0.830	49.8	0.0138	840000	0.9884	1.6661	607.2289	364.4509	8.3650	0.000493	33935.1097
1900	1899	3000	1366	203	11.8	0.00001	0.570	34.2	0.0095	840000	0.9855	2.5737	884.2105	343.5582	12.9486	0.000493	52529.7151
1900	1905	4000	1353	198	15.4	0.00001	0.460	27.6	0.0077	840000	0.9730	3.3181	1095.6522	330.2072	16.6411	0.000493	67509.6434
1900	1900	5000	1326	194	19	0.00001	0.333	20	0.0056	840000	0.9561	4.0820	1512.0000	370.4106	20.5261	0.000493	83270.1806
2000	2001	1000	1449	204	3.8	0.00001	0.812	48.7	0.0135	840000	0.9921	0.8274	620.9446	750.5115	3.9504	0.000493	16025.9240
2000	2004	2000	1442	214	7.9	0.00001	0.672	40.3	0.0112	840000	0.9858	1.8158	750.3722	413.2381	8.6571	0.000493	35119.9027
2000	2004	3000	1435	216	12.1	0.00001	0.523	31.4	0.0087	840000	0.9810	2.8209	963.0573	341.4005	13.4487	0.000493	54558.8139
2000	2000	4000	1423	213	16	0.00001	0.428	25.7	0.0071	840000	0.9748	3.7019	1176.6537	317.8491	17.6844	0.000493	71741.8193
2000	2008	5000	1376	208	18.8	0.00001	0.313	18.8	0.0052	840000	0.9388	4.4103	1608.5106	364.7157	20.9844	0.000493	85129.5720
2100	2103	1000	1518	220	3.9	0.00001	0.788	47.3	0.0131	840000	0.9889	0.9187	639.3235	695.9256	4.1736	0.000493	16931.4135
2100	2100	2000	1511	231	8.2	0.00001	0.613	36.8	0.0102	840000	0.9857	2.0346	821.7391	403.8781	9.2567	0.000493	37552.5184
2100	2103	3000	1507	233	12.6	0.00001	0.465	27.9	0.0078	840000	0.9817	3.1663	1083.8710	342.3120	14.3849	0.000493	58356.7253
2100	2102	4000	1492	225	16.6	0.00001	0.412	24.7	0.0069	840000	0.9724	4.0668	1224.2915	301.0422	18.4849	0.000493	74989.3316
2100	2101	4500	1448	220	18.3	0.00001	0.358	21.5	0.0060	840000	0.9442	4.5148	1406.5116	311.5366	20.5305	0.000493	83288.0911
2200	2199	1000	1586	235	4.1	0.00001	0.717	43	0.0119	840000	0.9881	1.0325	703.2558	681.1403	4.4858	0.000493	18198.1079
2200	2201	2000	1583	239	8.5	0.00001	0.560	33.6	0.0093	840000	0.9853	2.1830	900.0000	412.2717	9.4761	0.000493	38442.6760
2200	2203	3000	1573	240	13	0.00001	0.388	23.3	0.0065	840000	0.9782	3.3771	1297.8541	384.3107	14.6460	0.000493	59416.0219
2200	2203	4000	1555	231	17.2	0.00001	0.295	17.7	0.0049	840000	0.9670	4.3504	1708.4746	392.7182	18.8671	0.000493	76539.8723
2200	2203	4200	1545	240	18	0.00001	0.280	16.8	0.0047	840000	0.9608	4.7607	1800.0000	378.0940	20.6467	0.000493	83759.2852

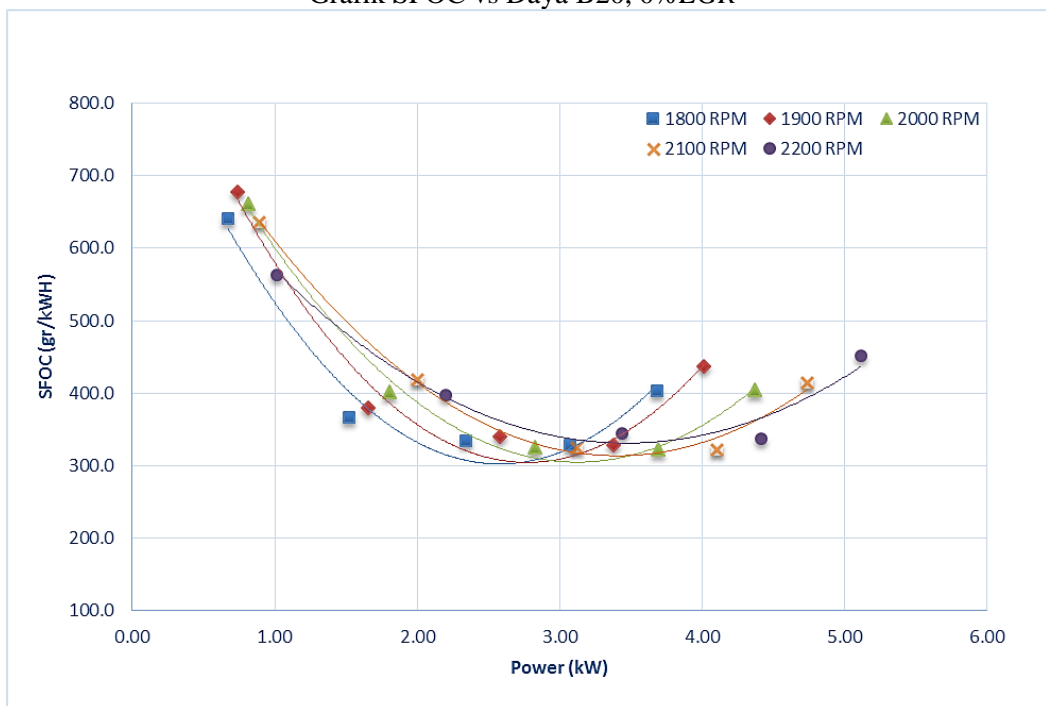
Lampiran 2 : Grafik SFOC



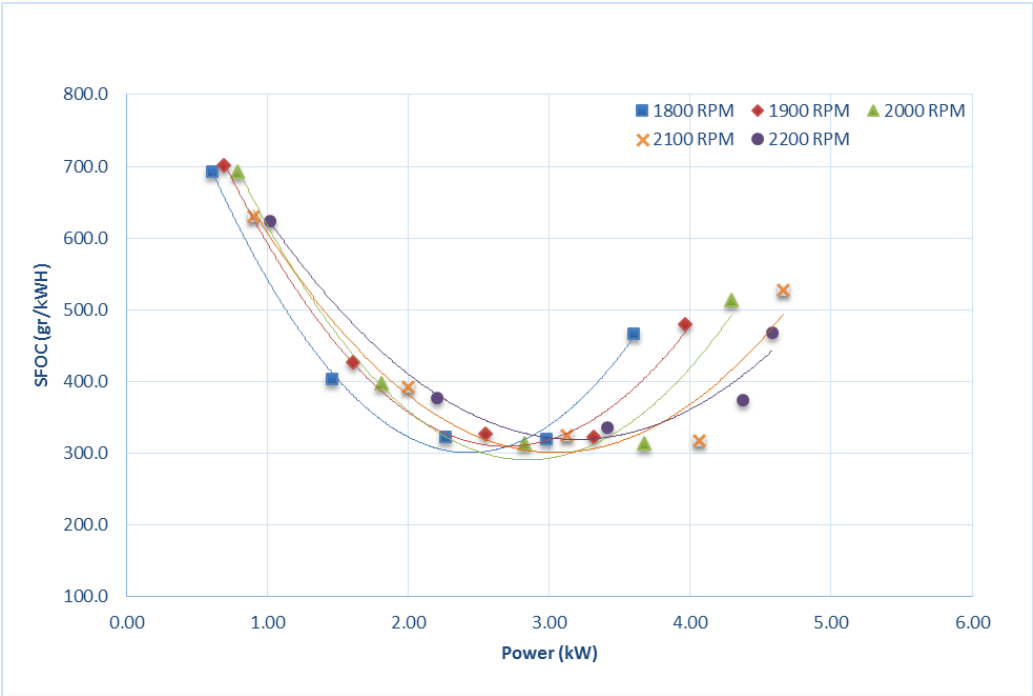
Grafik SFOC vs Daya B0, 0% EGR



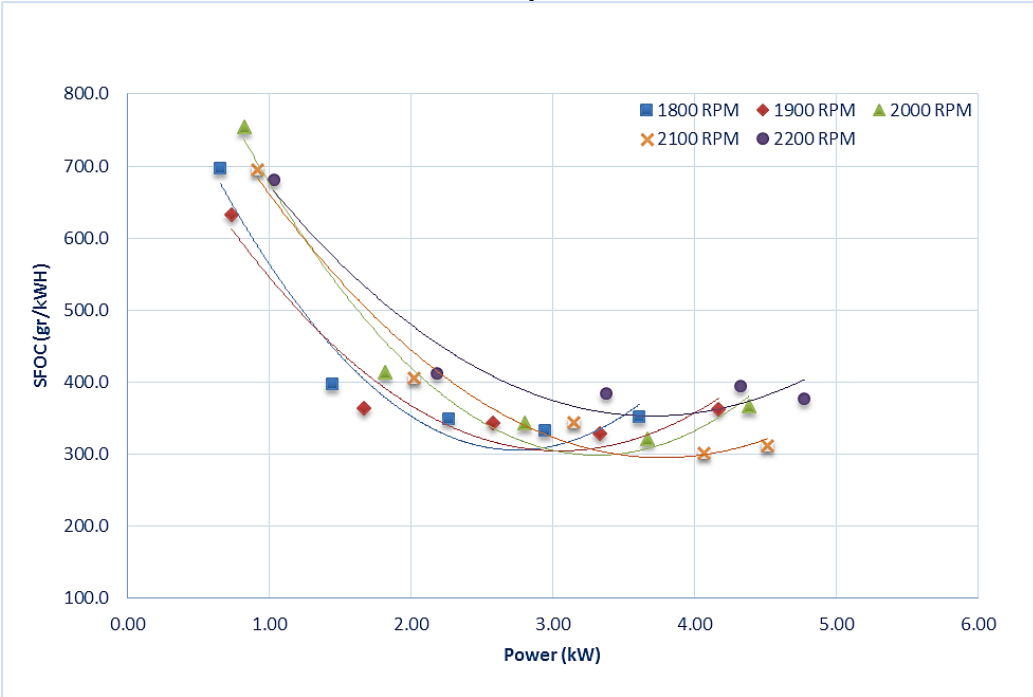
Grafik SFOC vs Daya B20, 0% *EGR*



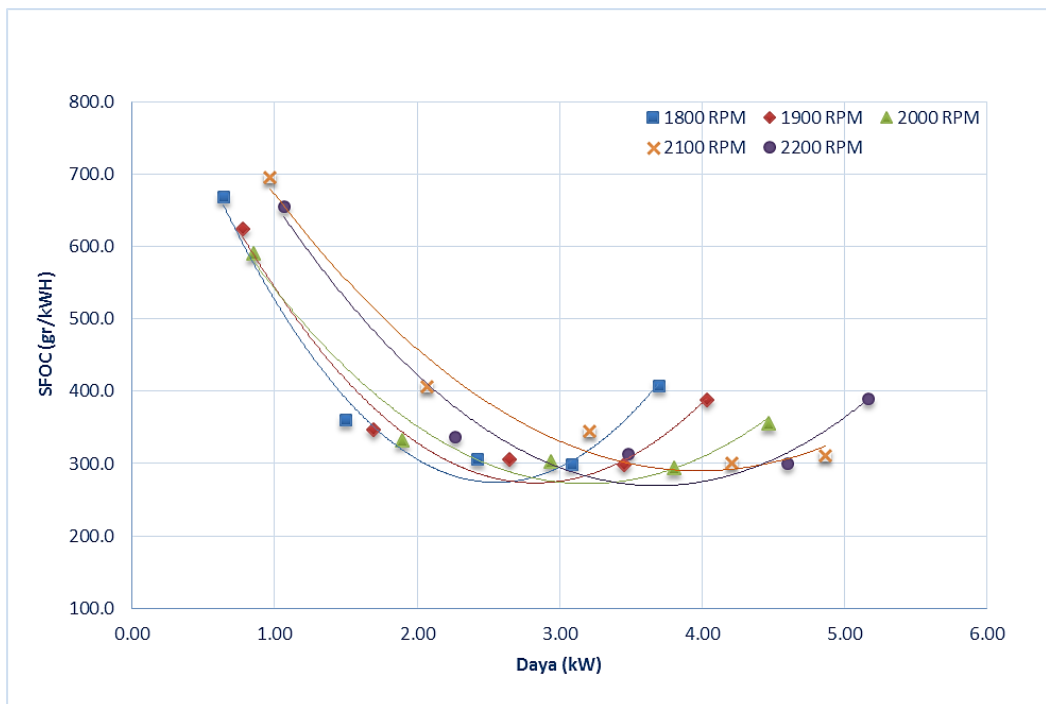
Grafik SFOC vs Daya B20, 10% *EGR*



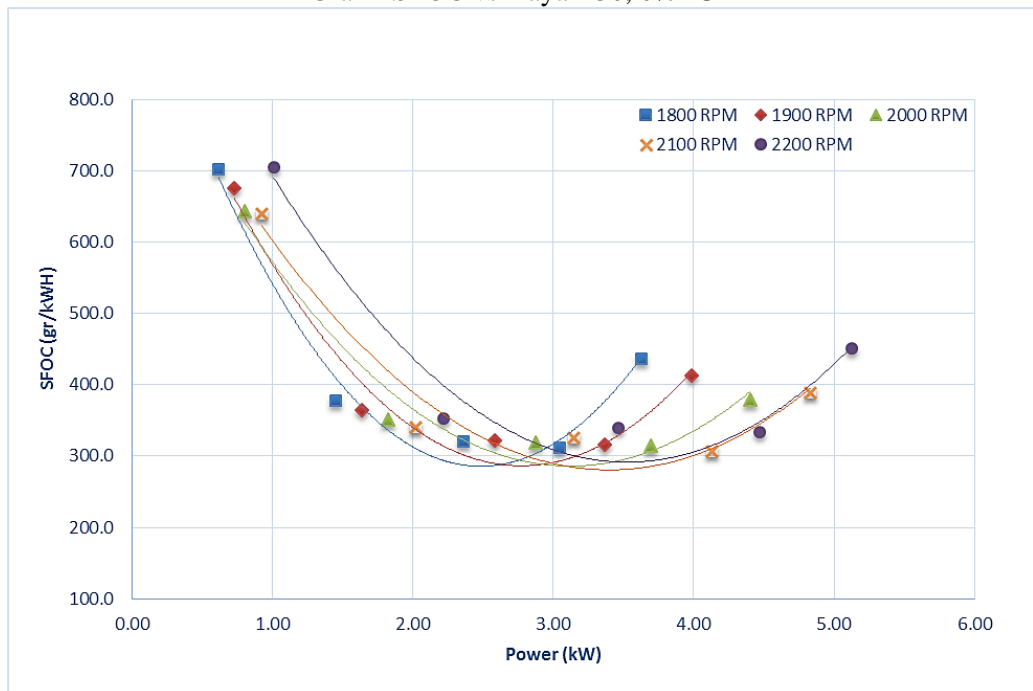
Grafik SFOC vs Daya B20, 20% EGR



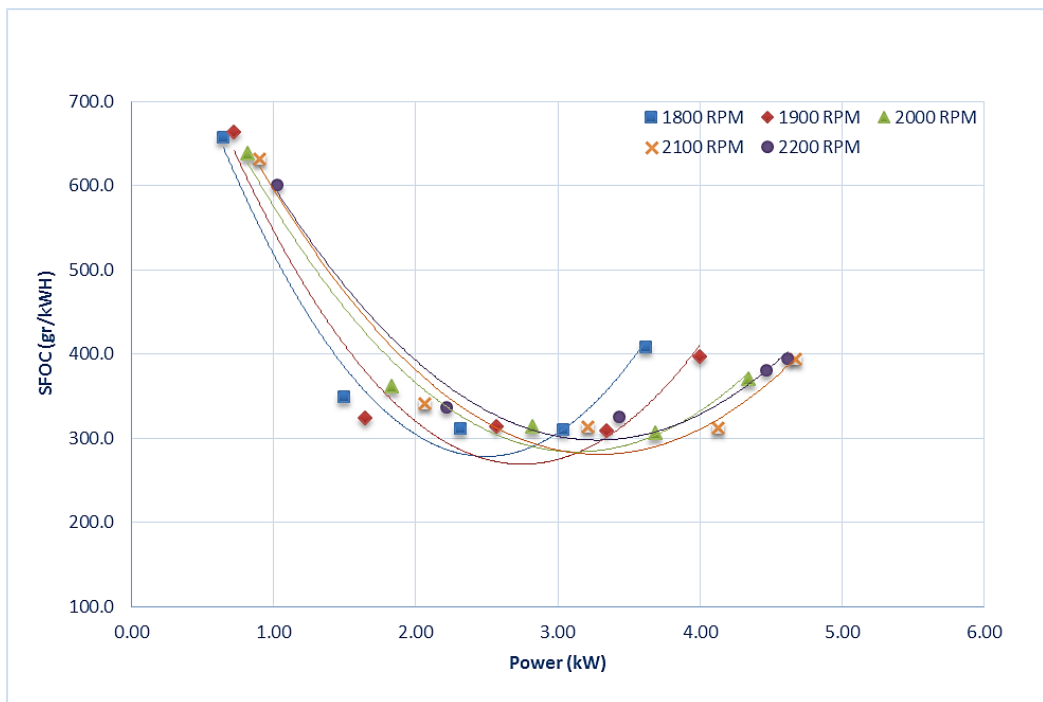
Grafik SFOC vs Daya B20, 30% EGR



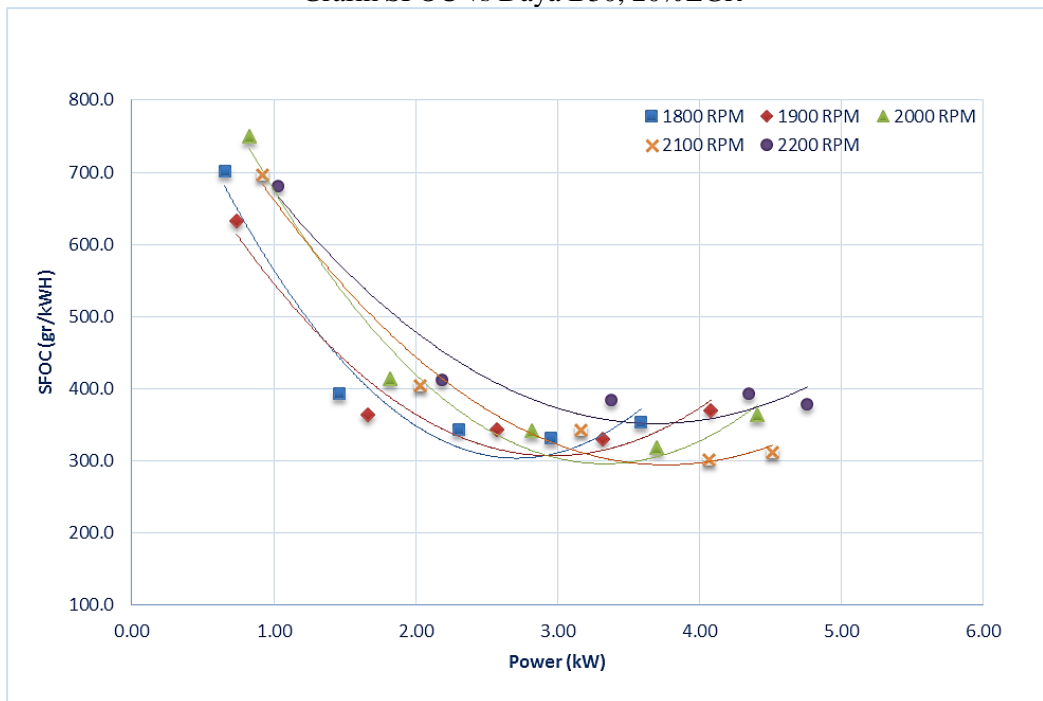
Grafik SFOC vs Daya B30, 0% *EGR*



Grafik SFOC vs Daya B30, 10% *EGR*

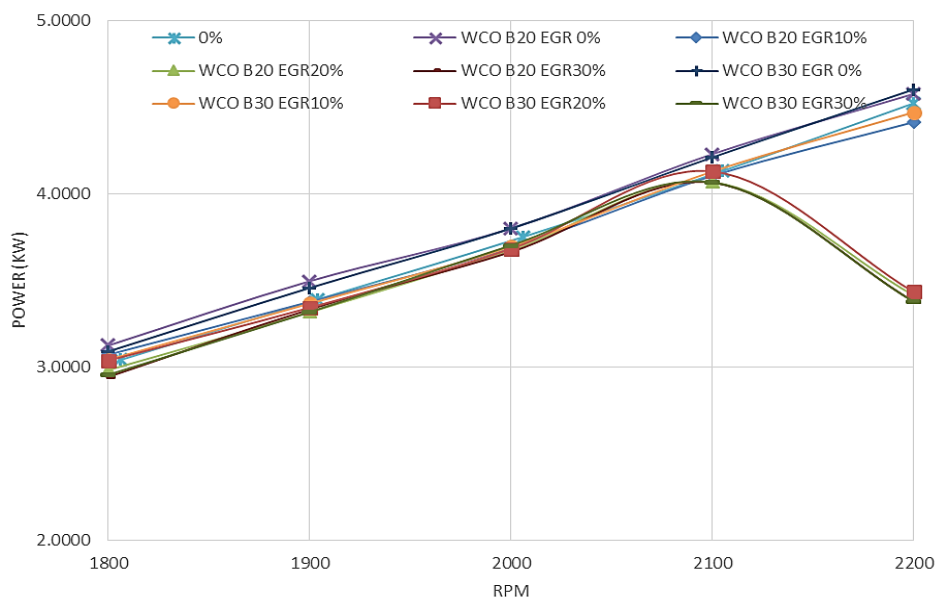


Grafik SFOC vs Daya B30, 20% EGR

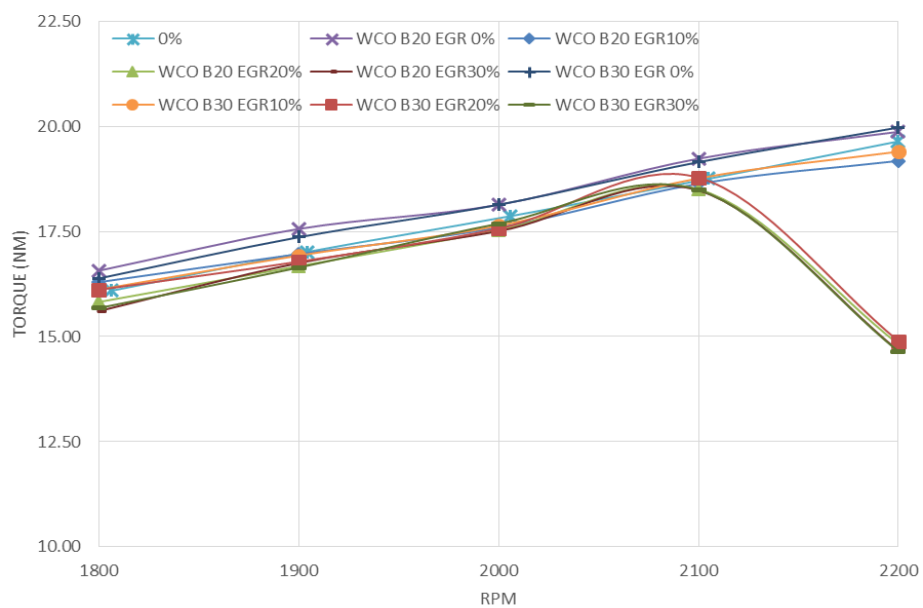


Grafik SFOC vs Daya B30, 30% EGR

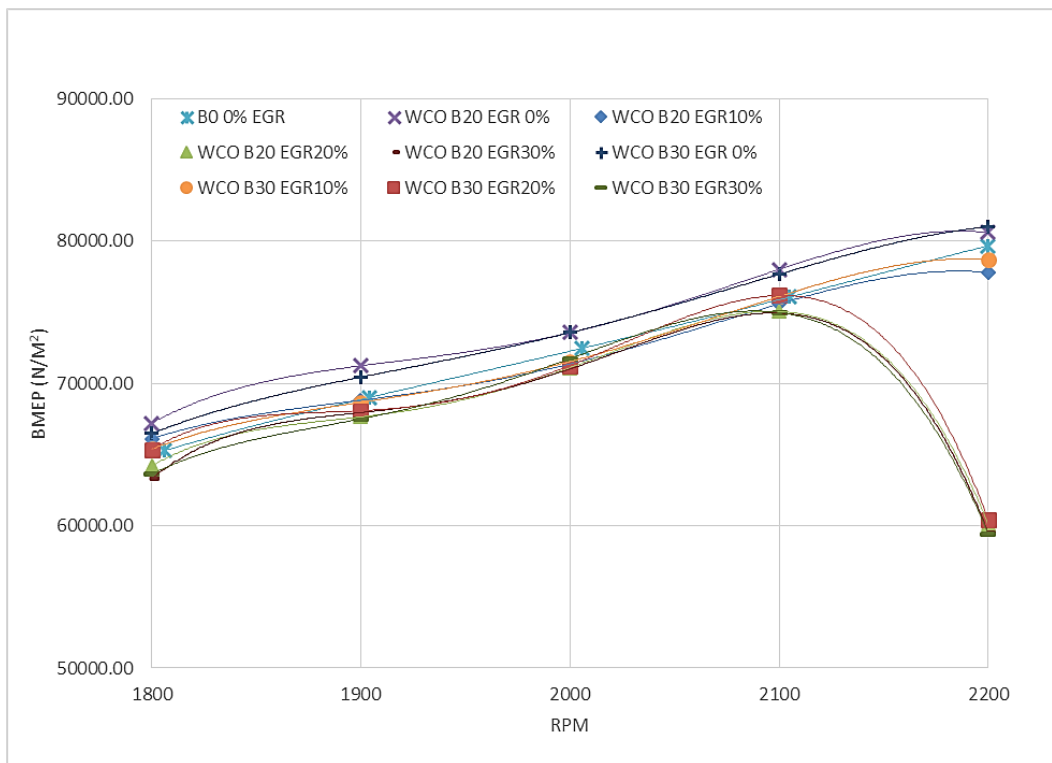
Lampiran 3 : Grafik Power, Torsi & BMEP



Grafik Power vs RPM pada variasi bahan bakar dan %EGR

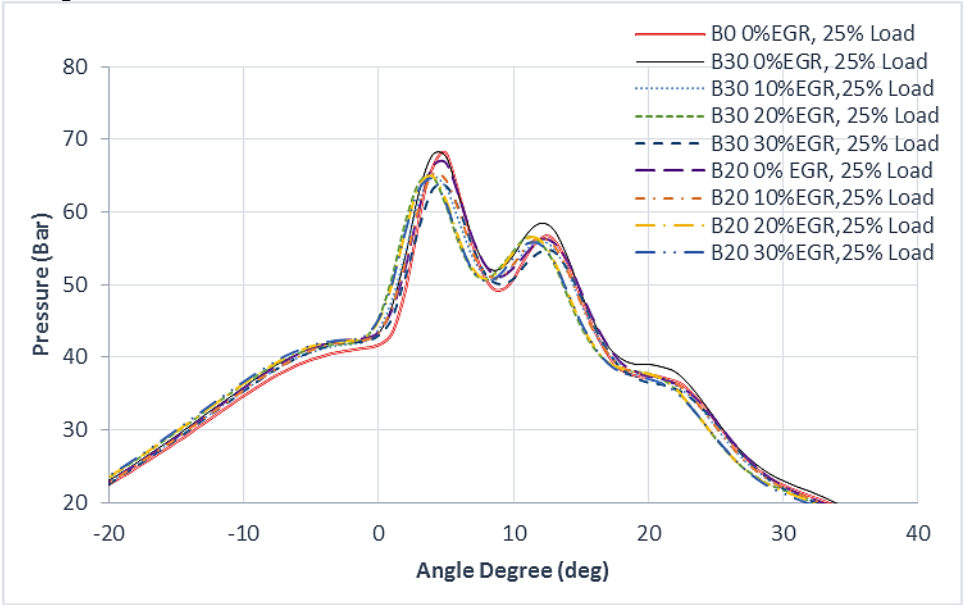


Grafik Torsi vs RPM pada variasi bahan bakar dan %EGR

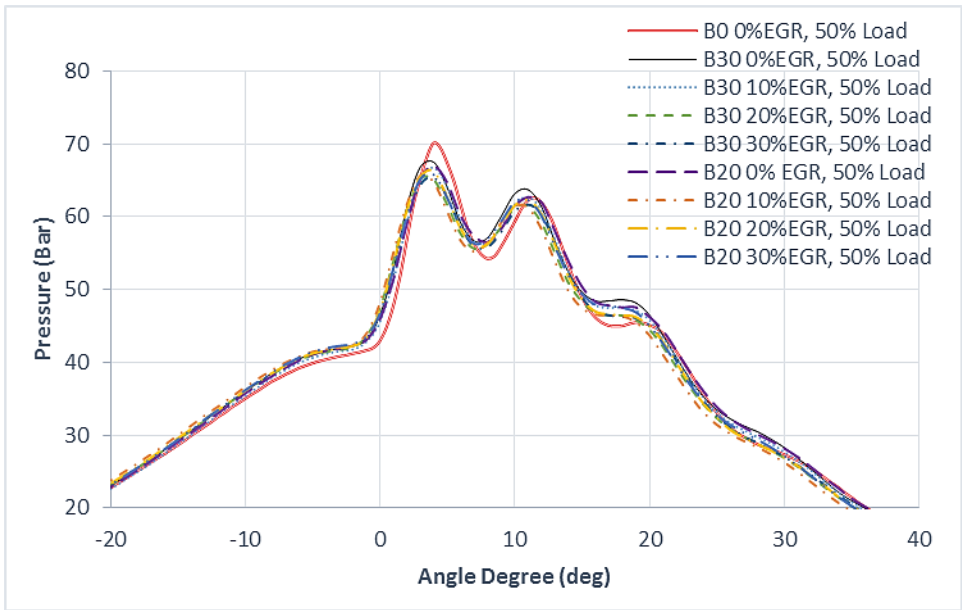


Grafik BMEP vs RPM pada variasi bahan bakar dan %EGR

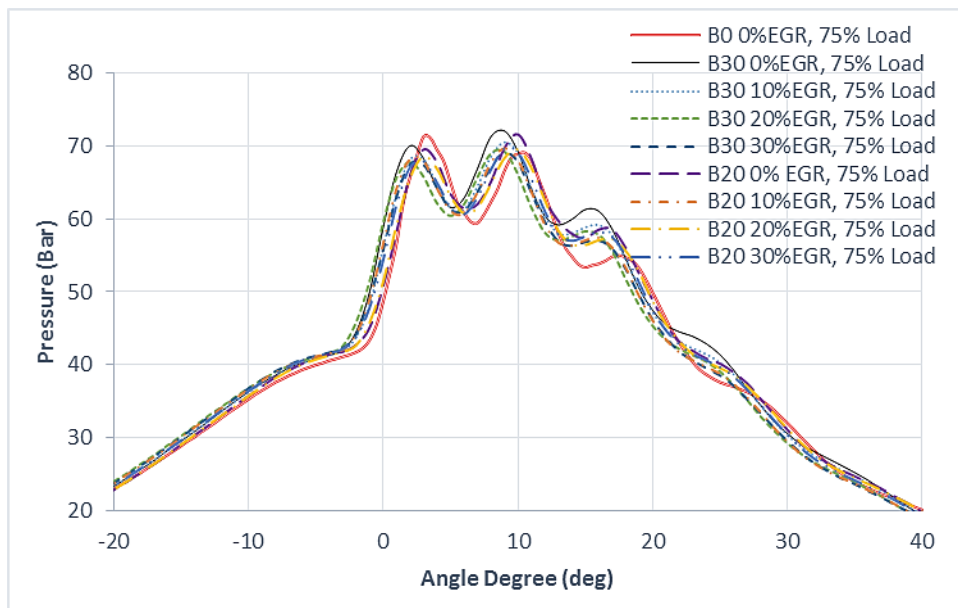
Lampiran 3 : Grafik Combsution Pressure



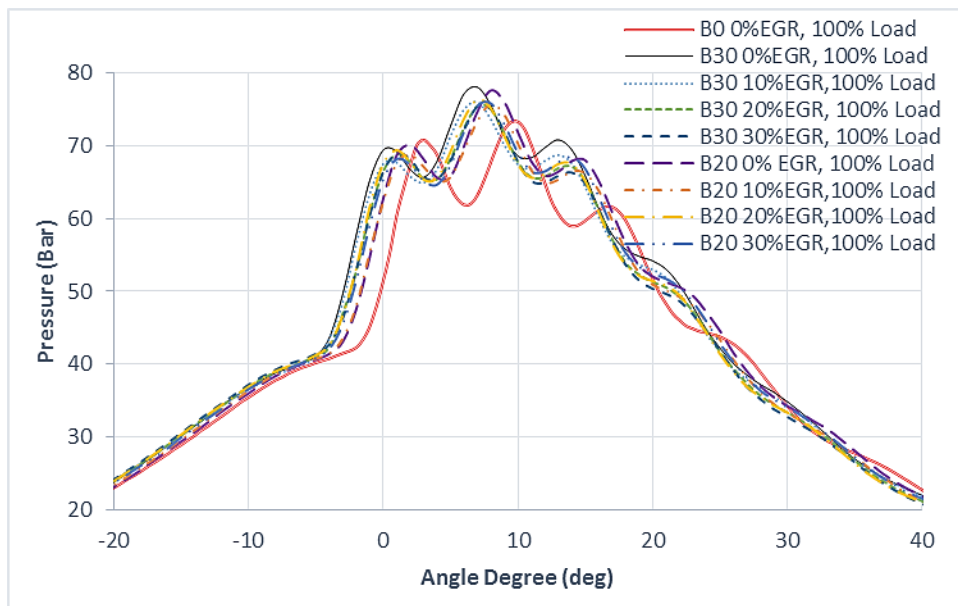
Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM 25% Load



Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM 50% Load

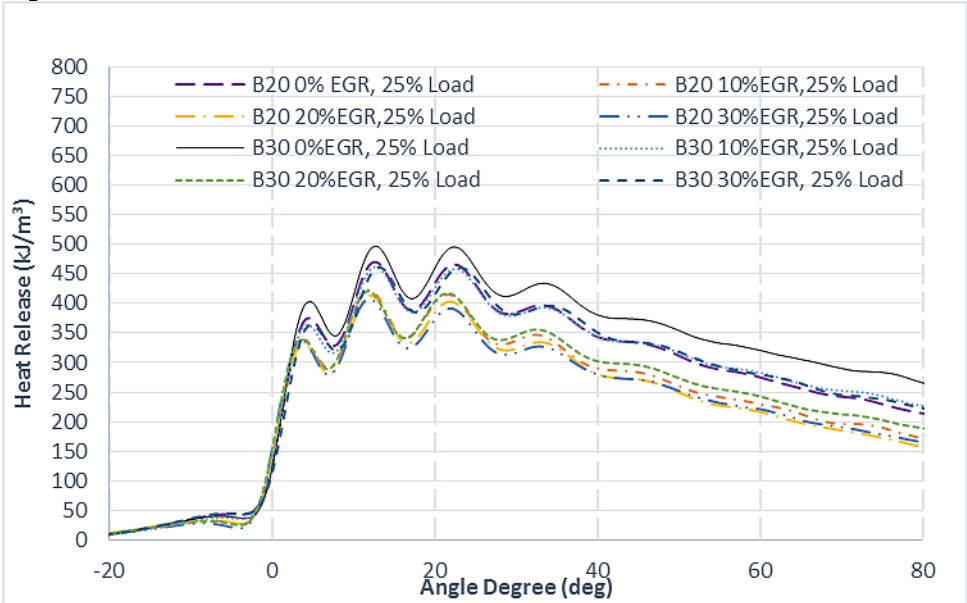


Grafik Combustion Pressure pada 100%RPM 75%Load

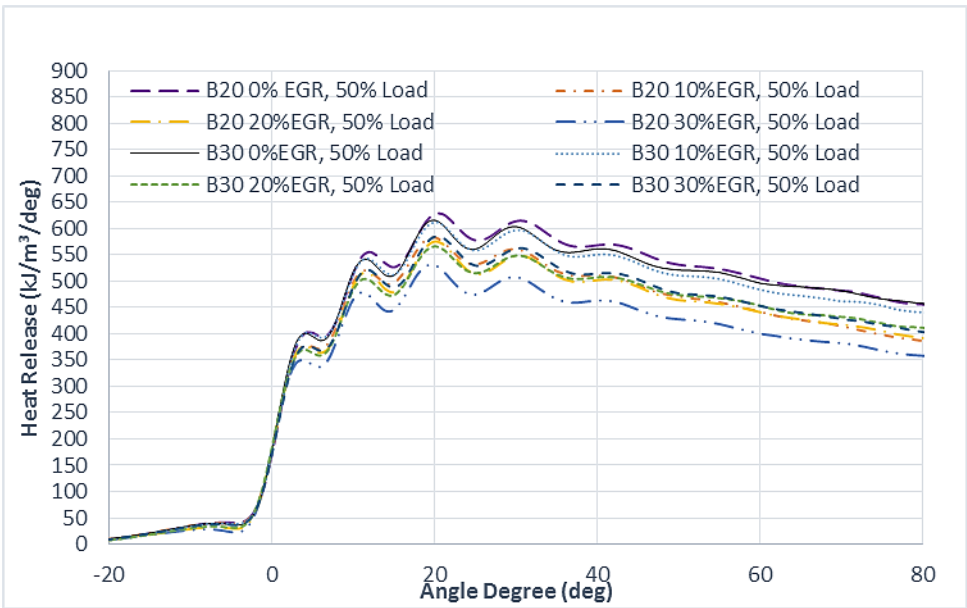


Grafik Combustion Pressure pada 100%RPM 100%Load

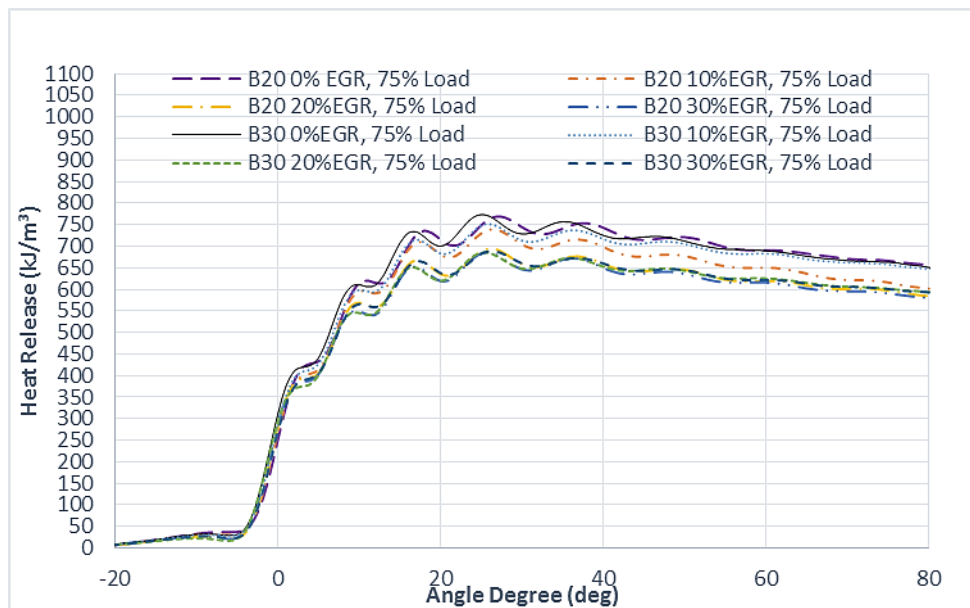
Lampiran 5 : Grafik Heat Release



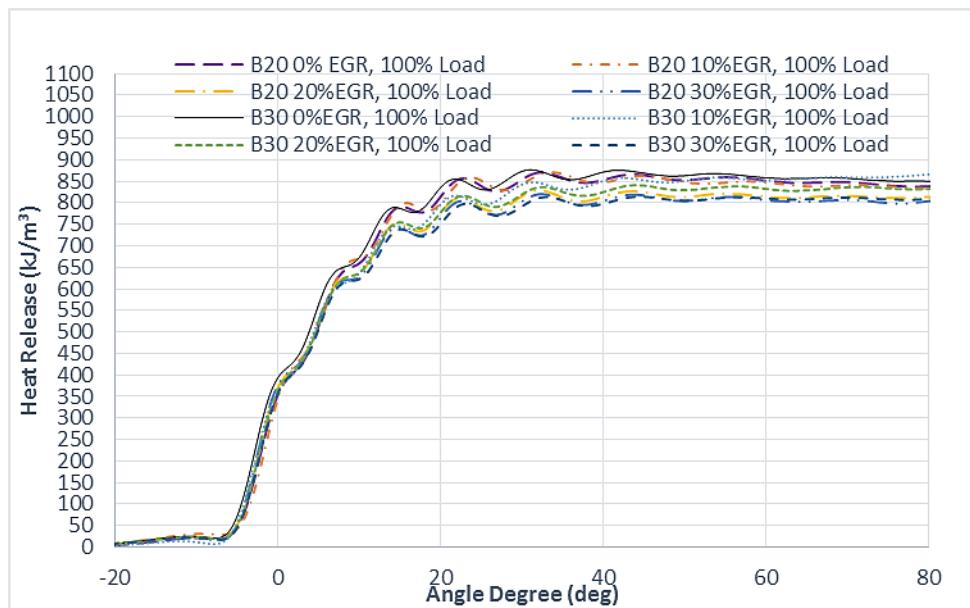
Grafik Heat Release pada 100% RPM 25% Load



Grafik Heat Release pada 100% RPM 50% Load

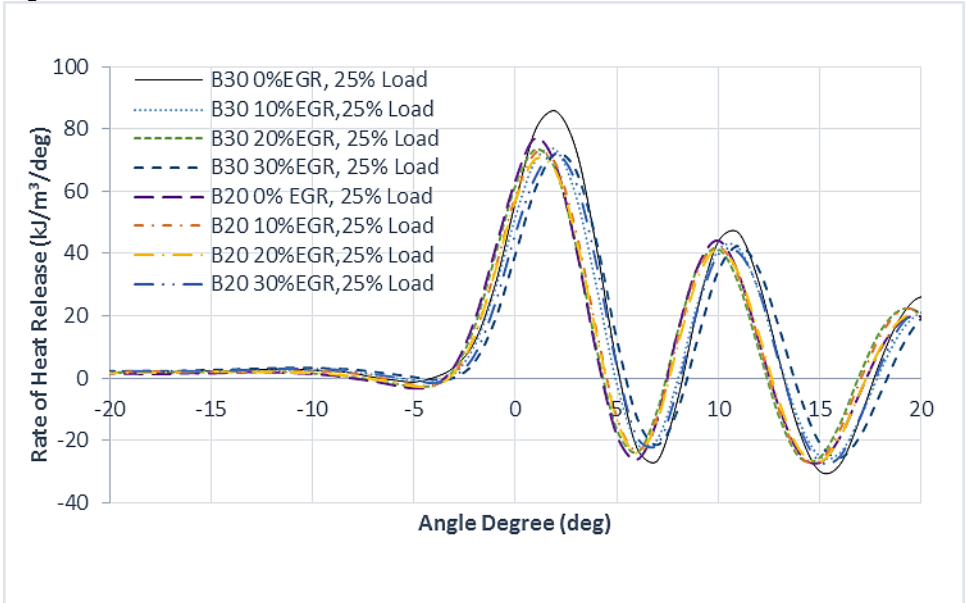


Grafik Heat Release pada 100%RPM 75%Load

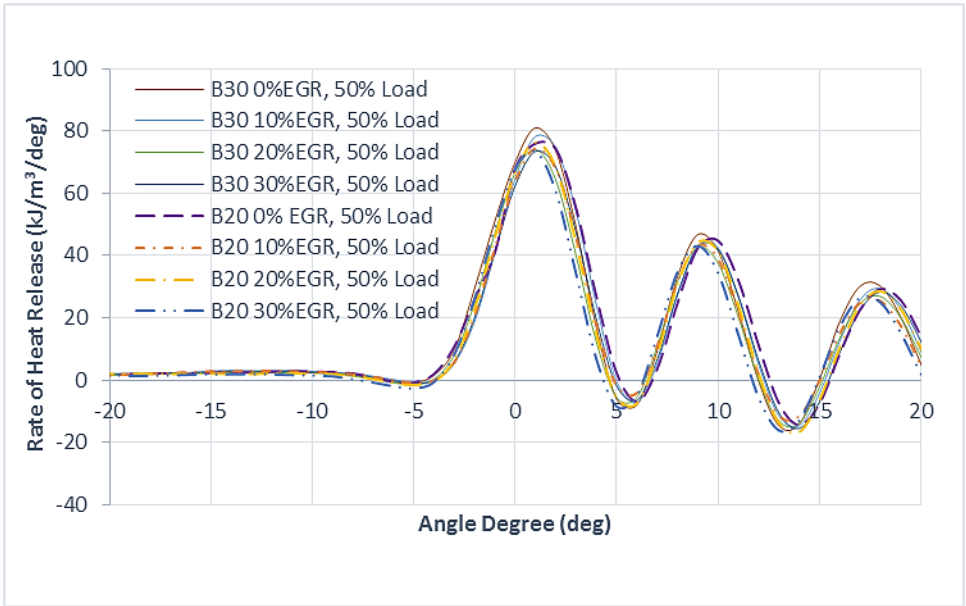


Grafik Heat Release pada 100%RPM 100%Load

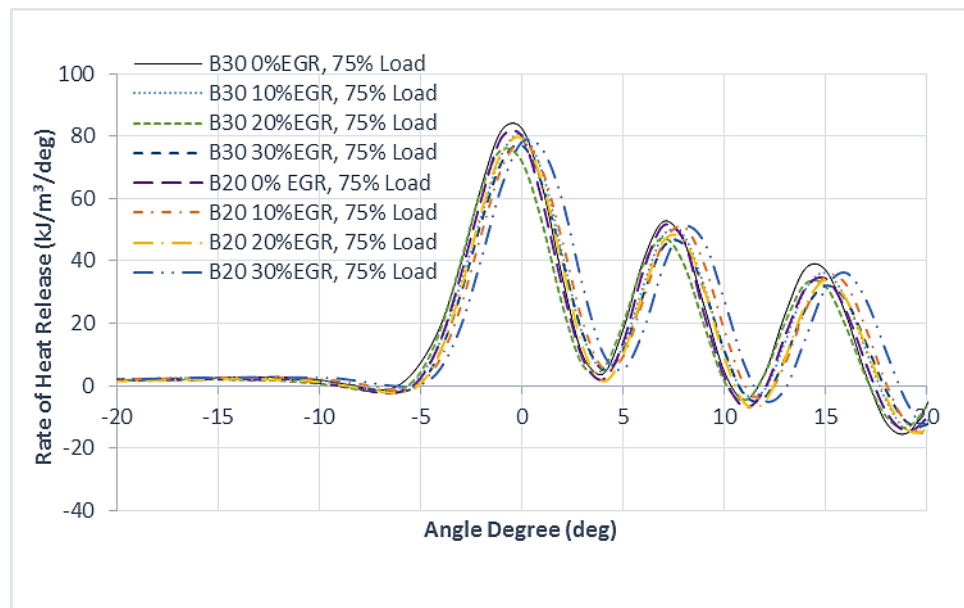
Lampiran 6 : Grafik Rate of Heat Release



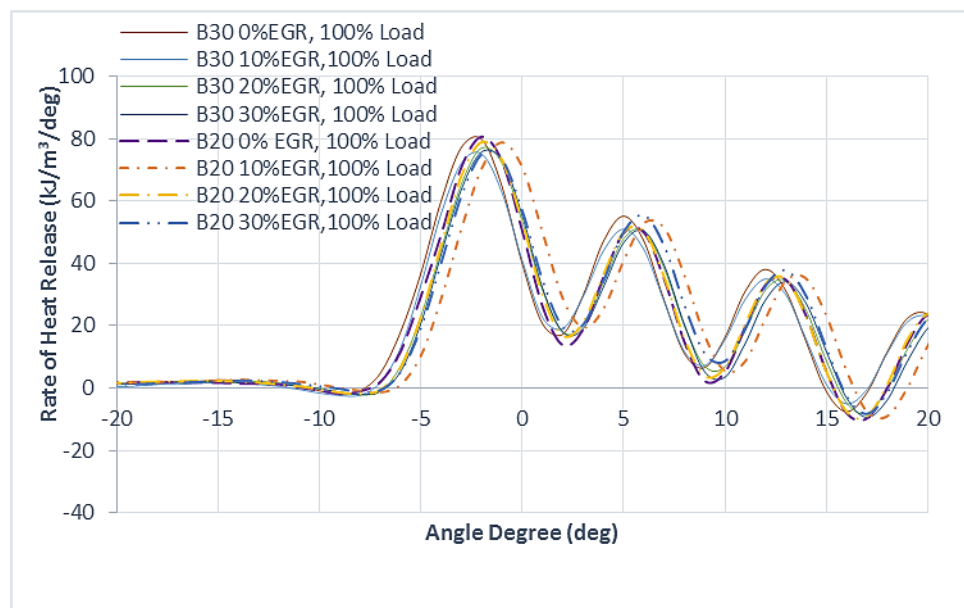
Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM 25% Load



Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM 50% Load



Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM 75% Load



Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM 100% Load

Lampiran 7 : Tabel Konversi Emisi

EGR %	load						
		mg/kWh	g/kWh	% excess Air	K multiply	weigh facto	g/kWh
B30 0%EGR	25%	2870	2.87	3.96	1.2436	0.15	4.104502
	50%	3100	3.1	4.63	1.294967	0.15	4.616556
	75%	3636	3.636	6	1.4	0.5	7.6356
	100%	3886	3.886	7.78	1.536467	0.2	7.164851
B30 10%EGR	25%	2382	2.382	7.78	1.536467	0.15	4.208843
	50%	2411	2.411	6.36	1.4276	0.15	3.958235
	75%	2610	2.61	4.88	1.314133	0.5	5.144832
	100%	2450	2.45	4	1.246667	0.2	3.6652
B30 20%EGR	25%	2460	2.46	7.7	1.530333	0.15	4.329313
	50%	2408	2.408	5.97	1.3977	0.15	3.870511
	75%	2538	2.538	4.51	1.285767	0.5	4.894914
	100%	2252	2.252	4.1	1.254333	0.2	3.38971
B30 30%EGR	25%	2341	2.341	7.5	1.515	0.15	4.078607
	50%	2295	2.295	5.3	1.346333	0.15	3.55331
	75%	2465	2.465	4.4	1.277333	0.5	4.72294
	100%	2210	2.21	3.96	1.2436	0.2	3.298027



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
Email : uptk3sby@gmail.com ; hpkkjtm@yahoo.com



LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
No. PT.05 / VII /2017

- I Nama Pengguna Jasa : MAHASISWA ITS (TORO)
II Alamat : Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya
III Jenis Pengukuran : Kualitas Udara Emisi
IV Tanggal Pengukuran : 5 Juli 2017
V Lokasi Pengukuran : Mesin Diesel Yanmar, TF 85 DI
VI Alat Yang Digunakan : Exhaust Gas Analysis, ECOM J2KN
VII Hasil Pengukuran :

NO	Bahan Bakar	Variasi EGR	Beban (%)	Hasil NO _x (mg/kWh)	Excess Air (%)
1	WCO B 30	30 %	25	2341	3,96
			50	2295	4,63
			75	2465	6,0
			100	2210	7,78
2	WCO B 30	20 %	25	2460	7,78
			50	2408	6,36
			75	2538	4,88
			100	2252	4,0
3	WCO B 30	10 %	25	2382	7,7
			50	2411	5,97
			75	2610	4,51
			100	2450	4,1
4	WCO B 30	0 %	25	2870	7,5
			50	3100	5,3
			75	3636	4,4
			100	3886	3,96

Surabaya, 10 Juli 2017
MANAJER TEKNIK



SLAMET, SKM.
NIP. 19630111 198803 1 012

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 19 Pebruari 1995, merupakan anak ke 1 dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Kedung Mlaten, SMPN 1 Kertosono, dan SMAN Kertosono dan melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN. Penulis terdaftar dengan NRP 4213 100 028. Penulis mengambil konsentrasi bidang studi *Marine Power Plant* (MPP). Selama berada di bangku perkuliahan, penulis aktif mengikuti beberapa Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yang bergerak dalam bidang beladiri yaitu Perisai Diri ITS. Selain organisasi kemahasiswaan tingkat jurusan, yaitu pada tahun kedua perkuliahan menjadi staff Departemen riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan, dilanjutkan pada tahun ketiga penulis menjadi Ketua Biro Big Event sekaligus menjadi Ketua Pelaksana Kompetisi Kemaritiman tingkat Nasional Marine Icon 2017. Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) dan Getaran Mesin.